

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



DETERMINACIÓN DE CAUDALES Y DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS
PRINCIPALES NACIMIENTOS UBICADOS EN LA MONTAÑA EL
GIGANTE DEL MUNICIPIO DE CHIQUIMULA, DEPARTAMENTO DE
CHIQUIMULA, GUATEMALA

WALTER ANDRÉS LÓPEZ JIMÉNEZ

CHIQUIMULA, GUATEMALA, ENERO 2023

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

DETERMINACIÓN DE CAUDALES Y DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS
PRINCIPALES NACIMIENTOS UBICADOS EN LA MONTAÑA EL
GIGANTE DEL MUNICIPIO DE CHIQUIMULA, DEPARTAMENTO DE
CHIQUIMULA, GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

WALTER ANDRÉS LÓPEZ JIMÉNEZ

Al conferírsele el título de

INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

En el grado académico de

LICENCIADO

CHIQUIMULA, GUATEMALA, ENERO 2023

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



**RECTOR
MTRO. WALTER RAMIRO MAZARIEGOS BIOLIS**

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Lic. Zoot. Merlin Wilfrido Osorio López
Representante de Profesores:	Mtro. Helmuth César Catalán Juárez
Representante de Profesores:	Mtro. José Emerio Guevara Auxume
Representante de Graduados:	Ing. Agr. Henry Estuardo Velásquez Guzmán
Representante de Estudiantes:	A.T. Zoila Lucrecia Argueta Ramos
Representante de Estudiantes:	Br. Juan Carlos Lemus López
Secretaria:	Licda. Yessica Azucena Oliva Monroy

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	Mtro. Carlos Leonel Cerna Ramírez
Coordinador de Carrera:	Mtro. José Ramiro García Álvarez

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	Mtro. David Horacio Estrada Jerez
Secretario:	Inga. Agra. Magda Irene Medrano Guerra
Vocal:	Mtro. José Ramiro García Álvarez

TERNA EVALUADORA

Mtro. David Horacio Estrada Jerez
Mtra. Dayryn Estéfany Girón y Girón
Ing. Agr. Hugo David Córdón y Córdón

Guatemala, enero 2023

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: **“DETERMINACIÓN DE CAUDALES Y DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS PRINCIPALES NACIMIENTOS UBICADOS EN LA MONTAÑA EL GIGANTE DEL MUNICIPIO DE CHIQUIMULA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA”**, 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”

A handwritten signature in black ink, enclosed within an oval-shaped flourish. The signature appears to read 'W. López' with a small asterisk or mark above the 'z'.

Walter Andrés López Jiménez
201542597



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



REF- JRGA-GAL-01-2022

Chiquimula, 24 de octubre de 2022

Lic. Merlin Wilfrido Osorio López
Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad

Respetable licenciado Osorio:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación de la Carrera de Gestión Ambiental Local, para asesorar al estudiante **WALTER ANDRÉS LÓPEZ JIMÉNEZ**, en el trabajo de investigación denominado **"DETERMINACIÓN DE CAUDALES Y DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS PRINCIPALES NACIMIENTOS UBICADOS EN LA MONTAÑA EL GIGANTE DEL MUNICIPIO DE CHIQUIMULA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA"**, 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

cc. Archivo



D-TG-IGAL-021/2023

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 **WALTER ANDRÉS LÓPEZ JIMÉNEZ** titulado "**DETERMINACIÓN DE CAUDALES Y DE CALIDAD DEL AGUA DE LOS PRINCIPALES NACIMIENTOS UBICADOS EN LA MONTAÑA EL GIGANTE DEL MUNICIPIO DE CHIQUIMULA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA**", trabajo que cuenta con el aval del Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Gestión Ambiental Local. Por tanto, la Dirección del CUNORI, con base en las facultades que le otorgan 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 diecisiete de enero de dos mil veintitrés.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Lic. Zoot. Merlin Wilfredo Osorio López

**DIRECTOR
CUNORI – USAC**



c.c. Archivo
EFCC/ars

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Nuestro Padre y Creador que me ha guiado y me ha dado todo para completar esta meta en mi vida. Por la sabiduría y por todo lo que he pasado en mi vida es una muestra grande de su amor.

A MIS PADRES

María Aracely Jiménez Landaverry y Walter Otoniel López, por su apoyo incondicional, enseñanzas, consejos, valores y el amor que me han dado a lo largo de mi vida. Gracias por estar siempre conmigo, los amo.

A MI HERMANA

Sofía Maricely López Jiménez, por estar presente en los buenos y malos momentos de mi vida, por sus enseñanzas y por su apoyo incondicional.

A MIS ABUELOS

Juana López (Q.E.P.D), Ortencia de María Landaverry Sola y Andrés de Jesús Jiménez Duarte, por sus oraciones, amor, sabios consejos y enseñanzas que guardaré siempre en mi corazón que me han formado como persona y profesional.

A MI FAMILIA EN GENERAL

A mis tíos y primos por su apoyo incondicional y moral, y por compartir conmigo en estos momentos importantes. También a la familia Andrés Landaverry, por su apoyo durante mi EPS.

A MIS AMIGOS

Por su amistad incondicional y estar presentes en los buenos y malos momentos, por las alegrías y consejos, muchas gracias. En especial a Mario, Bill y Kevin, por estar siempre presentes en todos los momentos.

A MIS COMPAÑEROS

Por su amistad y momentos inolvidables llenos de alegrías a lo largo de estos años de vida académica, sin ustedes no sería posible este logro. En especial a Jeaneth, Phoebe, Vanessa, Mafer, Cynthia, Leisser, Ricardo, Diana y Marco.

A MIS COMPAÑEROS BECADOS

Por compartir gratos momentos en las horas de voluntariado y seminarios, por sus consejos y por su amistad, gracias.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Máxima casa de estudios de Guatemala de la que estoy orgulloso de pertenecer y me dio la oportunidad de ser un profesional.

A CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE

Por abrirme las puertas para mi crecimiento profesional, por enseñarme a trabajar por la sostenibilidad de Guatemala.

A MIS CATEDRÁTICOS

Por brindarme la mejor formación en cada una de las cátedras impartidas a lo largo de mi formación profesional. Gracias a cada uno por su paciencia, consejos, apoyo y dedicación.

A MI ASESOR

Ing. José Ramiro García, por sus consejos, dedicación, palabras de aliento para seguir adelante, por la paciencia y el tiempo invertido que fue fundamental para llevar a cabo esta investigación.

A LICDA. VILMA RAMOS

Por su valioso apoyo y guiarme durante mi etapa de campo y laboratorio. Muchas gracias.

A SECCIÓN SOCIOECONÓMICA USAC

Por darme la bendición de ser estudiante becado en gran parte de mi etapa académica, sin esa beca no hubiera culminado mis estudios universitarios.

A MIS EVALUADORES

Por su orientación, observaciones y consejos que me dieron a lo largo de mi proceso de seminarios con el fin de mejorar la calidad de la presente investigación.

A COOSAJO R.L.

Por brindarme el apoyo logístico necesario durante mi etapa de campo.

A MIS AMIGOS

Hedward Chegüén, Marlon Figueroa y Alejandro Calderón, por brindarme su apoyo en la fase de campo para realizar esa investigación.

A LICDA. EVELYN DÁMARIS GÓMEZ RAMOS

Por el apoyo incondicional, consejos, amistad y palabras de aliento que me ayudaron a seguir cada paso en la recta final de mi carrera. Muchas gracias.

A DON RUMALDO Y CRISTÓBAL

Por su valioso apoyo durante la realización de la fase de campo y su importante guía en el área de estudio.

A LOS PROPIETARIOS Y COMUNITARIOS

Por facilitarme el acceso a cada una de las fuentes de agua, por guiarme en muchos momentos, muchas gracias.

A LAS ENTIDADES

Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y Reginsa Forestal, por el apoyo brindado durante la fase de campo.

A TODOS:

A cada persona que me ayudó de una u otra manera durante estos años, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACION	4
4. OBJETIVOS	5
4.1 Objetivo general	5
4.2 Objetivos específicos	5
5. MARCO TEORICO	6
5.1. Calidad del agua	6
5.2. Contaminación del agua	6
5.3. Sustancias que provocan la contaminación en el agua	7
5.4. Contaminación del agua según la Organización Mundial de la Salud (OMS)	9
5.5. Características del agua	9
5.5.1 Características físicas	9
5.5.2 Características químicas	10
5.5.3 Características microbiológicas	12
5.6 Procedimiento para la recolección de las muestras de agua	12
5.6.1 Consideraciones del muestreo	13
5.6.2 Preservación de la muestra de agua	13
5.7 Identificación de la muestra	14
5.8 Transporte de las muestras de agua	15
5.9 Intervalo de tiempo entre la recolección de la muestra y el análisis	15
5.10 Caudal del agua	15
5.11 Métodos y principios de aforos de fuentes de agua	16
5.11.1 Aforo	16
5.11.2 Método de volumen y tiempo (método volumétrico)	16
6. MARCO REFERENCIAL	18
6.1 Departamento de Chiquimula	18
6.2 Municipio de Chiquimula	18

6.3 Montaña El Gigante	18
6.4 Zonas de vida	19
6.5 Especies indicadoras de flora	19
6.6 Clima	19
6.7 Hidrología	20
6.8 Investigaciones con el tema	22
7. MARCO METODOLÓGICO	25
7.1 Determinación del área de estudio	25
7.2 Ubicación y estimación del número de fuentes de agua en la montaña El Gigante	25
7.3 Establecimiento de puntos de control en las fuentes de agua de la montaña El Gigante	25
7.4 Determinación de caudales	26
7.5 Equipo de muestreo y su preparación	26
7.6 Toma de la muestra de agua	27
7.7 Preservación y transporte de las muestras de agua	28
7.8 Parámetros a evaluar	28
7.8.1 Parámetros a medir in situ	28
7.8.2 Parámetros en laboratorio	28
7.9 Determinación del Índice Canadiense de Calidad del Agua, CCME_WQI	29
7.10 Periodo del estudio	31
7.11 Análisis de la información	32
7.12 Propuesta de lineamientos generales para la gestión del recurso hídrico	32
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
8.1 Fuentes de agua de la montaña El Gigante	33
8.2 Puntos de monitoreo establecidos en las fuentes de agua de la montaña El Gigante	36
8.3 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados en las fuentes de la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula.	37
8.3.1 Potencial de hidrógeno pH	37
8.3.2 Temperatura del agua en °C	39
8.3.3 Conductividad eléctrica del agua	41
8.3.4 Oxígeno disuelto	43
8.3.5 Turbidez	45

8.3.6 Sólidos disueltos totales	47
8.3.7 Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	49
8.3.8 Porcentaje de Saturación	51
8.3.9 Nitratos (NO ₃)	53
8.3.10 Fosfatos	55
8.3.11 Dureza	57
8.3.12 Sulfatos (SO ₄)	59
8.3.13 Nitritos (NO ₂)	61
8.3.14 Coliformes fecales	63
8.3.15 Coliformes totales	65
8.3.16 Escherichia Coli	67
8.4 Calidad del agua de las fuentes de agua en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula	69
8.5 Determinación de caudales en las fuentes de agua en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula.	71
8.6 Propuesta de lineamientos generales para mejorar la calidad de las fuentes de agua de la montaña El Gigante	72
9. CONCLUSIONES	74
10. RECOMENDACIONES	76
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
12. APÉNDICES	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
1	Fuentes de agua en montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	34
2	Puntos de monitoreo establecidos en las fuentes de agua de la montaña El Gigante	36
3	Potencial de hidrogeno del agua para las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	38
4	Temperatura de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	40
5	Conductividad eléctrica del agua de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	42
6	Oxígeno disuelto de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	44
7	Turbidez de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	44
8	Sólidos disueltos totales de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	48
9	Demanda biológica de oxígeno DBO ₅ de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	50
10	Porcentaje de saturación de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	52
11	Nitratos NO ₃ de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	54
12	Fosfatos de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	56
13	Dureza de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	58
14	Sulfatos de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	60
15	Nitritos NO ₂ de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	62
16	Coliformes fecales de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	64

17	Coliformes totales de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	66
18	Escherichia Coli de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula	68
19	Índice Canadiense de Calidad de Agua y clasificación de la calidad de las fuentes de agua de montaña El Gigante, 2021	70
20	Caudales de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Red hidrológica de la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula	21
2	Mapa de ubicación de las 29 fuentes de agua de montaña El Gigante, municipio de Chiquimula	35
3	Promedio de potencial de hidrógeno pH, en las fuentes de agua de montaña El Gigante	39
4	Temperatura promedio del agua de las fuentes de la montaña El Gigante	41
5	Promedio de conductividad en las fuentes de agua de montaña El Gigante	43
6	Valores promedio del oxígeno disuelto del agua en las fuentes de montaña El Gigante	45
7	Promedio de turbidez en las fuentes de agua de montaña El Gigante	47
8	Promedio de sólidos disueltos totales en las fuentes de agua de montaña El Gigante	49
9	Promedio de demanda biológica de oxígeno en las fuentes de agua de montaña El Gigante	51
10	Promedio de porcentaje de saturación en las fuentes de agua de montaña El Gigante	53
11	Promedio de nitratos en las fuentes de agua de montaña El Gigante	55
12	Promedio de fosfatos en las fuentes de agua de montaña El Gigante	57
13	Promedio de dureza en las fuentes de agua de montaña El Gigante	59
14	Promedio de sulfatos en las fuentes de agua de montaña El Gigante	61
15	Promedio de nitritos en las fuentes de agua de montaña El Gigante	63
16	Promedio de coliformes fecales en las fuentes de agua de montaña El Gigante	65

17	Promedio de coliformes totales en las fuentes de agua de montaña El Gigante	67
18	Promedio de Escherichia Coli en las fuentes de agua de montaña El Gigante	69
19	Índice de calidad del agua en los nacimientos de la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula	71

RESUMEN

El agua es la fuente y el sostén de la vida en la Tierra, hasta el punto de ser hasta un indicador de desarrollo en una región. No solo es importante para prácticamente todos los procesos industriales y agrícolas que hacen posible la vida como la conocemos, sino que es fundamental a nivel individual. A lo largo de la historia ha sido base fundamental para el desarrollo de las civilizaciones y de la sociedad moderna. A pesar de su gran importancia, no se ha dado el manejo adecuado al recurso; en países como Guatemala existe dicho recurso en abundancia, sin embargo, se encuentra, en su mayoría, contaminada debido a diversos factores.

La montaña El Gigante es parte de los municipios de Cabañas, Huité, San Diego y Zacapa, del departamento de Zacapa y el municipio de Chiquimula, del departamento del mismo nombre. La importancia de dicha montaña se debe a que es una zona de recarga hídrica muy importante para los municipios antes mencionados y sus comunidades, no obstante, a pesar de su importancia se carece de información en cuanto a la situación actual de las fuentes de agua en términos de calidad y cantidad.

La investigación se realizó en la montaña El Gigante en jurisdicción del municipio de Chiquimula, la cual consistió en estimar la cantidad de fuentes de agua, realizar una caracterización de caudales y de calidad a partir de parámetros físicos, químicos y microbiológicos con el fin de determinar el Índice Canadiense de Calidad del Agua, CCME_WQI para las fuentes de agua en la montaña El Gigante en el municipio de Chiquimula, así como proponer lineamientos generales para la gestión del recurso hídrico.

Se realizó dos monitoreos de calidad y cantidad a una muestra de 16 fuentes de agua que permitió datos representativos para determinar la calidad y cantidad del recurso hídrico en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula.

En lo concerniente al Índice Canadiense de Calidad del Agua, CCME_WQI, se analizó 16 parámetros, los cuales fueron: potencial de hidrógeno -pH-, temperatura, turbidez, conductividad, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, dureza, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, sólidos totales, demanda biológica de oxígeno DBO₅, E. Coli, Coliformes totales y Coliformes fecales; analizado en el laboratorio ambiental del Centro Universitario de Oriente -CUNORI-.

Las fuentes de agua muestreadas presentan una clasificación como “Mala” en su totalidad (16 fuentes de agua) de acuerdo al Índice Canadiense de Calidad del Agua con valores que van de 36.09% a 41.19%, dichos valores indican que el agua no es apta para consumo humano y que

se necesita de un tratamiento previo para su consumo. Con los resultados obtenidos también se presentó una serie de lineamientos generales para la gestión del recurso hídrico.

Se logró cumplir lo planteado en los objetivos de esta investigación, asimismo, se recomendó que es necesario seguir realizando más investigaciones en la montaña El Gigante, tanto del departamento de Chiquimula como del lado del departamento de Zacapa, con el fin de ampliar la información generada en esta investigación.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural indispensable para el desarrollo de la vida en el planeta, tan importante que forma parte de la vida cotidiana de los seres humanos en cada ámbito de su desarrollo. A pesar de ello, la degradación de su calidad y la disminución del agua dulce del planeta son factores que ponen en riesgo los ecosistemas.

En términos de calidad y cantidad de agua, en Guatemala, se ha visto reducida debido a la mala gestión que se le ha dado a tan importante recurso, que ha conllevado a una serie de problemas socioambientales que han afectado a la sociedad guatemalteca, en especial, a la más vulnerable.

La gestión integral del recurso hídrico se ha convertido en una herramienta fundamental para el uso sostenible del agua, lo que ha garantizado a la población de dichos lugares a tener el recurso tanto en calidad como en cantidad. En Guatemala, este tema ha sido una utopía en los últimos años debido a la poca investigación que se le ha dado al tema, la falta de planificación de las autoridades competentes, proyectos mal ejecutados, legislación ambiental incumplida, uso ineficiente que la población le otorga y falta de educación ambiental.

En el municipio de Chiquimula la situación es similar, ya que la gestión del agua no ha sido la adecuada, a pesar de contar con un recurso limitado debido a la ubicación en la que se encuentra Chiquimula, influenciada por las condiciones climáticas, fisiográficas, entre otras.

La montaña El Gigante es un importante reservorio de agua para diferentes municipios de Zacapa y el municipio de Chiquimula, el cual, a pesar de proveer agua a muchas comunidades del municipio, no ha recibido la atención necesaria de las autoridades y universidades, esto ha generado que no exista una gestión adecuada del recurso hídrico en la región.

Debido a lo anterior, la presente investigación se realizó con el fin primordial de determinar cuál es la situación actual que se vive en la montaña El Gigante con respecto al recurso hídrico y poder establecer lineamientos que permitan promover el uso adecuado de los nacimientos del área de influencia.

La presente investigación tuvo como objetivo Caracterizar la calidad y caudal del agua de las fuentes superficial en la montaña El Gigante en el municipio de Chiquimula, para lo cual se estimó

la cantidad de las fuentes superficiales (nacimientos), los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para establecer la calidad del agua, además se estimó el Índice Canadiense de Calidad del Agua, para posteriormente proponer lineamientos generales para la gestión integral del recurso hídrico. El periodo de estudio fue comprendido en los meses de agosto de 2020 a marzo de 2021 la fase de campo, para posteriormente desarrollar la fase de gabinete, que permitió la presentación de los resultados.

Con la fase de campo y gabinete ya concluidas, se determinó que las fuentes de agua en su totalidad se encuentran contaminadas y su calidad es “mala”, esto debido a diversos factores que han alterado la calidad del recurso hídrico; entre los factores se pueden mencionar la falta de servicios sanitarios en las viviendas de las comunidades, la contaminación por lixiviados provenientes de áreas de cultivo, pilas y áreas usadas para realizar las necesidades fisiológicas. Asimismo, se presenta una propuesta de estrategias que faciliten a los tomadores de decisiones y usuarios del agua acciones para garantizar la gestión integral del recurso hídrico.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala, gracias a su posición estratégica tiene abundancia de agua, algo que históricamente ha sido base para el desarrollo de distintos rubros económicos que hay en el país y para el asentamiento de comunidades en el área rural y urbana, las cuales se encuentran cercanas a las fuentes de agua. A pesar de esto, en los últimos años en todo Guatemala los niveles de agua superficial han disminuido constantemente y su calidad ha empeorado, esto principalmente a las malas prácticas que se han realizado a lo largo de los años y al cambio climático.

En la montaña El Gigante, ubicada en los departamentos de Chiquimula y Zacapa, la gestión hídrica es muy deficiente, ya que a pesar de contar con decenas de nacimientos que se encuentran en la parte alta de la montaña, en la comunidad de El Durazno se encuentra la mayoría de estos nacimientos, sin embargo, es la única comunidad que no cuenta con servicio de agua potable.

Cabe destacar que varias de las zonas donde se encuentran algunos nacimientos, existen pilas públicas, en las cuales los pobladores (en especial mujeres y niños) lavan ropa, jalan agua y se bañan en dichos lugares, los cuales son contaminados por el uso en exceso de nitratos y fosfatos que traen los detergentes.

Dicha situación genera cierto grado de preocupación, ya que muchos de los nacimientos se encuentran a escasos metros de las pilas públicas o cerca de cultivos, lo que genera que se contamine el agua por compuestos aniónicos como los nitratos, fosfatos y sulfatos, que son producto de la agricultura y el uso de detergentes. También cabe destacar que algunos de los hogares cercanos a los nacimientos y a las zonas de recarga hídrica poseen letrinas, fosas sépticas, mientras que otros carecen de ambas, lo que genera que se lixivien los coliformes fecales, coliformes totales, materia orgánica y ciertos minerales, contaminando las fuentes de agua.

3. JUSTIFICACIÓN

Los nacimientos de la parte alta de la montaña El Gigante abastecen agua a los municipios de Chiquimula, Zacapa, San Diego, Huité y Cabañas, en los cuales gran cantidad de la población de sus comunidades usa esta agua para consumo humano, muchas veces sin un tratamiento previo, y las pocas veces que se le da un tratamiento, es incompleto.

En las últimas décadas se ha visto un aumento en la temperatura de la atmósfera y una disminución de las lluvias, lo que ha generado el descenso de los niveles freáticos en general. Aunado a esto, la cobertura forestal de la montaña El Gigante se ha visto muy reducida en los últimos años, quedando los últimos bosques casi en su totalidad en la aldea El Durazno, el cual corre riesgo de desaparecer las pequeñas extensiones de bosque ya que vecinos del lugar y pobladores de aldeas circunvecinas extraen leña y madera para consumo familiar y para comercializar, a un ritmo mayor que el de recuperación, generando así la pérdida de la capacidad de retención de agua y, por ende el descenso del nivel freático y la disminución de la red hidrológica superficial.

Debido a esta situación de la falta o mala aplicación de tratamiento de agua para consumo humano, los consumidores se vuelven propensos a enfermedades debido a esta mala práctica, como lo que pasa con los nitratos, que al entrar al cuerpo humano se reducen a nitritos y disminuye los niveles de hemoglobina en la sangre y puede causar cianosis, que es el síndrome del bebé azul. En cuanto a los fosfatos, puede causar enfermedades cardiovasculares y cardíacas. Los coliformes totales son del tipo de contaminante más común, en el cual, si no se trata el agua, puede causar enfermedades como diarrea o disentería.

La importancia de la investigación radica en que por medio de ella se pudo ver los nacimientos o afluentes que tiene un índice de calidad adecuado para consumo humano, cuál puede ser su tratamiento previo para consumirla de acuerdo a sus componentes y cómo controlar los indicadores para mejorar su calidad.

Es de suma importancia determinar los caudales de las corrientes de agua de la red hidrológica superficial, ya que por medio de ello se puede observar la variación de los caudales de una temporada a otra.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Caracterizar la calidad y cantidad del agua de las fuentes superficial en la montaña El Gigante en el municipio de Chiquimula, para proponer lineamientos que permitan la gestión integral del recurso hídrico.

4.2 Objetivos específicos

- Estimar la cantidad de las fuentes superficiales (nacimientos) existentes en la montaña El Gigante en jurisdicción del municipio de Chiquimula.
- Determinar los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para establecer la calidad del agua de las fuentes superficiales (nacimientos) en la montaña El Gigante en jurisdicción del municipio de Chiquimula.
- Establecer el Índice Canadiense de Calidad del Agua, CCME_WQI para las fuentes de agua en la montaña El Gigante en el municipio de Chiquimula.
- Determinar los caudales de las principales fuentes superficiales en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula.
- Proponer lineamientos generales para el manejo adecuado del recurso hídrico de las comunidades que se encuentran en la montaña El Gigante municipio de Chiquimula.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Calidad del agua

Calidad del agua se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito (Bindault, 2016).

Según Bindault (2016), este término se utiliza con mayor frecuencia por referencia a un conjunto de normas contra los cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable.

En Guatemala existe una norma para agua potable, establecida por la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR; donde se establecen límites máximos aceptables y permisibles para los compuestos químicos, características sensoriales y microbiológicas, para la calidad del agua de consumo humano, la cual puede provenir de fuentes superficiales o subterráneas y por lo general debe ser tratada para eliminar cualquier contaminación (Lemus, citado por Casasola, 2014).

5.2 Contaminación del agua

La contaminación del recurso hídrico es la incorporación de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales de tipo ordinario, agropecuario o bien industrial, estas materias deterioran la calidad del agua, la hacen inútil para los usos pretendidos y causa efectos dañinos a la flora, fauna y a la salud humana (Casasola, 2014).

Con frecuencia el sabor, el olor y el aspecto del agua indican que está contaminada, o bien, alterada en sus propiedades, pero la presencia de contaminantes peligrosos solo se puede detectar mediante pruebas químicas y biológicas específicas y precisas (Casasola, 2014).

Según United Nations Environment Programme (2016), desde los años noventa la contaminación de los ríos ha empeorado en América Latina, África y Asia. De esta forma, mientras en los países desarrollados la calidad del agua mejora con el paso de los años, la contaminación de ríos empeora en países en desarrollo.

En la actualidad, estas regiones del mundo se encuentran afectadas por estos tipos de contaminación:

- La contaminación patógena severa afecta a casi un tercio de los tramos de río de América Latina, Asia y África. Este tipo de contaminación es aquella en que se presentan elementos en el agua capaces de producir una enfermedad.
- La contaminación orgánica severa y moderada aqueja a cerca de un séptimo de todos los tramos de río de América Latina, Asia y África. Este tipo de contaminación está compuesta por desechos de personas y ganado, lo que es especialmente grave para la pesca de agua dulce y la seguridad alimentaria.
- La contaminación salina severa y moderada afecta a casi un décimo de los tramos de río de América Latina, lo que es preocupante toda vez que puede contaminar el agua de río para regadío y la industria (United Nations Environment Programme, 2016).

Las personas más vulnerables a la contaminación de aguas en nuestra región son los habitantes de zonas rurales, las mujeres (ya que normalmente usan aguas contaminadas para labores domésticas), los niños (por realizar actividades recreativas en las aguas) y los pescadores (United Nations Environment Programme, 2016).

Las causas de la contaminación en la región son: crecimiento de la población, aumento de la actividad económica, la intensificación y expansión de la agricultura y una mayor cantidad de conexiones al alcantarillado con un nivel bajo o nulo de tratamiento de aguas (United Nations Environment Programme, 2016).

5.3 Sustancias que provocan la contaminación en el agua

Existe un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de diferentes maneras. Según la Organización Mundial de la Salud, citada por Salazar (2016), los contaminantes pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Agentes patógenos: son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, entre otros. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un índice para medir la

salubridad de las aguas es el número de bacterias coliformes presentes. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que el agua para consumo humano tenga 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua.

- Desechos orgánicos: son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos y animales, Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias que demandan oxígeno para biodegradarse (aeróbicas). Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno y no permite la vida de peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Los índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son el oxígeno disuelto, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno).
- Sustancias químicas inorgánicas: en este grupo se incluyen los ácidos, sales y metales tóxicos (mercurio, plomo), los cuales afectan la calidad del agua. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos y afectar el rendimiento agrícola.
- Sustancias químicas orgánicas: en este grupo se incluye el petróleo, plásticos, plaguicidas y detergentes que permanecen largos períodos de tiempo, lo cual constituya una amenaza para la vida acuática.
- Sedimentos y materiales suspendidos: son partículas de suelo o sólidos que se acumulan en el fondo de depósitos o corrientes de agua; Son en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida, y los sedimentos que se acumulan destruyen sitios de alimentación de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales y ríos.
- Nutrientes vegetales inorgánicos: nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos, El resultado es agua maloliente e inutilizable.

- **Calor:** el agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses disminuyendo la capacidad de contener oxígeno y afecta la vida de organismos.

5.4 Contaminación del agua según la Organización Mundial de la Salud (OMS)

La contaminación del agua es conocida desde la antigüedad, por ello la preocupación de la Organización Mundial para la Salud (OMS).

El agua constituye el elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida, es difícil imaginar cualquier tipo de actividad en la que no se utilice. En nuestro planeta el agua cubre el 75% de su superficie; sin embargo, no toda el agua se encuentra en condiciones aptas para el uso agrícola, así como, para el consumo humano. El 97.5% del agua es salada, el 2.5% resultante es agua dulce distribuida en lagos, ríos, arroyos, embalses y agua subterránea (OMS, citado por Salazar, 2016).

El agua para satisfacer distintas necesidades se transforma en un recurso; sin embargo, no todas las personas disponen de ella, esto sucede por varios motivos, entre los cuales se pueden mencionar: la desigual distribución natural del agua en la superficie terrestre, esta imposibilidad lleva a situaciones de escasez, que no tiene causas exclusivamente naturales, sino que también sociales y económicas (OMS, citado por Salazar 2016).

5.5 Características del agua

El agua es el líquido vital para mantener la vida en la Tierra. Dependiendo de las particularidades del lugar en el que se encuentre el agua así serán las características físicas, químicas y microbiológicas, cabe destacar, que los índices de calidad del agua dependerán del uso que se le den.

5.5.1 Características físicas

Están relacionadas con la medición y registro de aquellas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos organolépticos; para lo cual se hace uso de parámetros que permiten tener un juicio aceptado de la calidad del agua (García, 2009).

- a) Aspecto:** Está relacionado con la turbidez del agua y consiste en determinaciones hechas mediante un turbidímetro.

- b) Color:** El color en el agua pueden ser de origen mineral o vegetal, causado por sustancias metálicas tales como componentes de hierro, magnesio, humus, turba, taninos, alga y protozoos.
- c) Temperatura:** Es un dato muy útil ya que la temperatura influye sobre las actividades, biológicas, la solubilidad de gases (especialmente oxígeno) y la viscosidad (Solís, citado por Salazar, 2016).

5.5.2 Características químicas

Son aquellas que permiten determinar las cantidades de minerales y compuestos orgánicos que afectan la calidad del agua, entre estas características están: oxígeno disuelto, pH, fosfatos, nitratos, nitritos y conductividad del agua.

- a) Oxígeno disuelto:** Es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, las aguas servidas generalmente carecen de oxígeno disuelto, dada la cantidad de materia orgánica, sin embargo, este valor puede diferir en algunos casos debido a la relación con el ambiente y la temperatura del agua. El oxígeno disuelto es el reactivo esencial para los procesos aeróbico y cuando los organismos aeróbicos utilizan los nutrientes orgánicos, consumen al mismo tiempo el oxígeno disuelto, si no se repone el oxígeno disuelto el crecimiento aeróbico se detiene cuando se agota el oxígeno y solo pueden continuar procesos anaeróbico lentos y maloliente. La disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua es el factor que limita la capacidad de purificación del agua (García, 2009).
- b) Potencial de hidrógeno (pH):** Es una medida de la acidez o basicidad de una solución y representa la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinada sustancia, en este caso, el agua. El pH se expresa mediante un valor entre 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 y básicas las que tienen pH mayores a 7; el pH = 7 indica la neutralidad de la disolución. Aunque no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua, pues es un factor regulador de diferentes procesos biológicos y químicos (Girón, 2011).

- c) **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅):** La DBO₅ de un agua contaminada, es la cantidad de oxígeno requerido (en mg/l), para descomposición biológica de los sólidos orgánicos disueltos en condiciones aeróbicas y en un tiempo y temperatura determinada (generalmente 5 días, a 20 °C). La prueba de DBO₅ estima el oxígeno gastado en la descomposición biológica actual de una muestra residual, y es, efectivamente, una simulación de laboratorio del proceso microbiano de auto purificación (García, 2009).
- d) **Conductividad:** 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, 2011).
- e) **Especies de nitrógeno (nitratos y nitritos):** Nitrato y nitrito son compuestos solubles que contienen nitrógeno y oxígeno. En el ambiente nitrito (NO₂ -) generalmente se convierte a nitrato (NO₃ -), lo que significa que nitrito ocurre raramente en aguas subterráneas. Nitrato es esencial en el crecimiento de las plantas y está presente en todos los vegetales y granos. Por esta razón, el uso predominante de nitrato en la industria es como fertilizante. Nitrito es usado para curar carnes, en la fabricación de explosivos, y en el mantenimiento de calderas industriales (Sigler y Bauder, s.f.).
- f) **Fosfatos PO₄:** Los fosfatos son la principal forma en la que el fósforo se presenta en las aguas naturales. Estos se encuentran en los fertilizantes y los detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras. Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas. Cuando entra demasiado fosfato al agua, florece el crecimiento de las plantas (Salazar, 2016).

Cabe destacar que la importancia de los fosfatos radica en que son un excelente estimulante para el crecimiento y desarrollo de las algas, lo que en su etapa de madurez absorbe cantidades suficientes de oxígeno del agua que se vuelve insuficiente para las demás especies en el cuerpo de agua, lo que provoca la muerte de estos.

- g) **Sulfatos SO₄:** Son sales moderadamente solubles a muy solubles, excepto las de Sr (60 ppm) y de Ba (2 ppm). Los sulfatos se encuentran de manera natural en numerosos minerales (barita epsomita, tiza, etc.), y su origen se debe fundamentalmente a los procesos

de disolución de las tizas, existentes en el terreno, en el agua subterránea; sin embargo, también pueden llegar a las aguas subterráneas por los excedentes de fertilizantes y pesticidas, así como por el paso del agua de la lluvia, por yesos en el suelo. Las altas concentraciones de sulfato en el agua potable pueden producir diarrea transitoria. La diarrea aguda puede producir deshidratación, particularmente en bebés y niños pequeños, que puede tener una condición o estado de diarrea (Girón, 2011).

h) Dureza: Hace referencia a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. Un sistema muy difundido para expresar las concentraciones de dureza (calcio y magnesio), es el de carbonato de calcio (CaCO_3) expresando la concentración en mg/L (Girón, 2011).

5.5.3 Características microbiológicas

En términos generales, los mayores riesgos microbianos son los derivados del consumo de agua contaminada con excrementos humanos o animales (incluidos los de las aves), los excrementos pueden ser fuente de patógenos como bacterias, virus y protozoos (Girón, 2011).

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 animales de sangre caliente y suelo. Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua, destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura; asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal (Girón, 2009).

Dentro de las coliformes totales (CT), se encuentran las coliformes fecales (CF), que provienen del tracto intestinal de animales de sangre caliente y son los mejores indicadores de riesgo de afecciones humanas; como, *Escherichia coli*, la cual provoca el síndrome diarreico agudo (Girón, 2009).

5.6 Procedimiento para la recolección de las muestras de agua

El muestreo de agua es una actividad dirigida a la recolección de una pequeña porción de ésta, que represente exactamente la calidad de la masa de agua en el lugar y en el momento de

obtención de la muestra. La recolección de la muestra representativa constituye uno de los elementos fundamentales de un programa de control de calidad 23 analítica a fin de obtener datos reales de las características físicas, químicas y microbiológicas de los cuerpos de agua como lo considera el SENA, citado por Casasola (2014).

La vigilancia de la calidad del agua es fundamental para reducir los riesgos de transmisión de enfermedades a la población por su consumo, como las de tipo gastrointestinal y las producidas por contaminantes tóxicos; esta vigilancia se ejerce a través del cumplimiento de los límites permisibles según el SENA, citado por Casasola (2014).

5.6.1 Consideraciones del muestreo

Según SENA, citado por Casasola (2014), las consideraciones generales a tener en cuenta durante el muestreo se pueden resumir de la siguiente manera:

- Enjuagar los envases con el agua a muestrear por lo menos dos veces de manera consecutiva, para evitar alguna alteración en la muestra de agua que se tomará.
- Identificar clara e inmediatamente la muestra.
- Las muestras se deberán tomar en los sitios de mayor mezcla, o inmediatamente después de ésta, para asegurar la representatividad del agua contenida en el punto de muestreo.
- Evitar tomar las muestras en sitios muy cercanos a la orilla o bordes del cuerpo de agua.
- No recolectar sedimentos o materiales adheridos a la orilla o bordes del cuerpo de agua o superficie del mismo.
- De preferencia usar solamente recipientes nuevos.

5.6.2 Preservación de la muestra de agua

El tiempo que transcurre desde que se toma la muestra hasta su llegada al laboratorio puede conducir a cambios físico-químicos, bioquímicos y biológicos dentro del envase, lo que producirá un cambio en la calidad intrínseca de la muestra, como lo indica el SENA, citado por Casasola (2014).

Según Casasola (2014), la preservación de las muestras es difícil, debido a que casi todos los preservantes interfieren de una u otra manera con algunas de las pruebas analíticas, por ello lo ideal es realizar los análisis de manera inmediata. El almacenamiento a baja temperatura (4°C) es quizá la mejor manera de preservar la mayoría de muestras por 24 horas. En todo caso solo se deben usar preservantes químicos cuando ellos no interfieran con los análisis a realizarse. Ningún método de preservación es enteramente satisfactorio por lo que debe seleccionarse el preservante teniendo en consideración las determinaciones a ser efectuadas. Las técnicas de preservación incluyen:

- Protección contra la incidencia de la luz solar.
- Disminución de la temperatura para retardar las reacciones
- Congelación de la muestra.

En general, el SENA, citado por Casasola (2014), se refiere a la refrigeración a temperaturas cercanas al punto de congelación o más bajas es la mejor técnica de conservación disponible, pero no resulta aplicable a todo tipo de muestras.

Para los análisis microbiológicos se tomarán las muestras en la superficie de la fuente de agua, ya que es ahí donde existe mayor probabilidad de que se encuentre las bacterias, es necesario retirar el empaque del envase hasta el momento en que se tomará la muestra, así el envase se mantendrá estéril; de igual forma que con las muestras de análisis físico - químicos, estas se tienen que preservar en una hielera, ya que durante 24 horas debe realizarse el análisis.

5.7 Identificación de la muestra

De acuerdo con el SENA, citado por Casasola (2014), una vez envasada la muestra deberá ser identificada, para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, pegar al recipiente antes o en el momento de muestreo papel engomado o etiquetas adhesivas en las que se anote, con tinta a prueba de agua, por lo menos la siguiente información:

- Número de muestra;
- Nombre del recolector;

- Fecha y hora de muestreo;
- Lugar y dirección del sitio;
- Coordenadas GTM o UTM.

5.8 Transporte de las muestras de agua

El tiempo de entrega de las muestras al laboratorio no deberá exceder de 24 horas. Es indispensable, antes de efectuar el transporte de las muestras recolectadas, verificar que el etiquetado de las mismas corresponda con el registro de campo, lo que permitirá la rápida y correcta identificación de todas y cada una de las muestras en el momento de su recepción; adicionalmente se debe cuidar que los envases estén perfectamente cerrados para evitar pérdida de muestra y mantener los recipientes con bastante hielo a una temperatura de 4°C, durante el tiempo que dure su traslado hasta el laboratorio. El transporte de los envases puede hacerse en hileras o en cajas de madera cubiertas interiormente por un material aislante y que contenga hielo, como se refiere el SENA, citado por Casasola (2014).

5.9 Intervalo de tiempo entre la recolección de la muestra y el análisis

En general, mientras más corto sea el tiempo que transcurre entre la recolección de la muestra y el análisis, más confiables serán los resultados analíticos. Para ciertos constituyentes y valores físicos, se requiere realizar la evaluación analítica en el campo.

El SENA, citado por Casasola (2014), describe que es imposible establecer exactamente cuánto tiempo de intervalo se puede permitir entre la recolección de la muestra y su análisis ya que ella depende del carácter de la muestra, el tipo de determinación a ser efectuado y las condiciones de almacenaje. Los cambios causados por el crecimiento de los microorganismos son retardados al mantener las muestras en la oscuridad y a baja temperatura.

5.10 Caudal del agua

El caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

La medición del caudal o gasto de agua que pasa por la sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal, tubería) de agua, se conoce como aforo o medición de caudales, este caudal

depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y de la velocidad media del agua, según Mota (2010).

5.11 Métodos y principios de aforos de fuentes de agua

5.11.1 Aforo

Según Mota (2010), el aforo es la operación de medición del volumen de agua en un tiempo determinado. Esto es, el caudal que pasa por una sección de un curso de agua. La fórmula que representa este concepto es la siguiente:

$$Q = \text{Vol} / t \text{ (Ec. 1)}$$

$$Q = \text{Área} \times \text{Velocidad}$$

Dónde:

Q = caudal

Vol = volumen

t = tiempo

Para la determinación de caudales hay una serie de métodos y técnicas que utilizan diferentes instrumentos. Entre los métodos de aforos tenemos:

- a) Método de medición:** En esta clasificación se encuentran los métodos de volumen y tiempo, método del correntómetro, y método químico.
- b) Métodos de área y velocidad:** Los métodos de área y velocidad para aforar aprovechan la corriente de los cuerpos superficiales de agua, entre los cuales se encuentra el método de vertedero y canaletas, método del flotador, y método de molinete.
- c) Aforadores Parshall:** Los aforadores Parshall son instrumentos calibrados para medir los caudales en cauces de ríos (Mota, 2010).

5.11.2 Método de volumen y tiempo (método volumétrico)

La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente se desvía hacia un canal que descarga en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro, según Arrieta (2008).

Para los caudales de más de 4 litros es adecuado un recipiente de 10 litros de capacidad, que se llenará en 2 ½ segundos. Para caudales mayores, un recipiente de 200 litros puede servir para corrientes de hasta 50 l/s. El tiempo que se tarda en llenarlo se medirá con precisión, como especialmente cuando sea de sólo unos pocos segundos. El procedimiento se debe repetir varias veces y sacar un promedio del tiempo, la variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados. El caudal se puede determinar mediante la fórmula siguiente: como lo menciona Arrieta (2008).

$$Q = \text{Volumen} / \text{tiempo} \text{ (Ec. 2)}$$

Este método de aforo solo es funcional para pequeños caudales; sin embargo, se pueden implementar también en pequeñas corrientes naturales de agua (utilizable en todas las corrientes en que pueda provocarse una caída del gasto que pasa por la corriente).

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 Departamento de Chiquimula

El Departamento de Chiquimula está ubicado en el oriente de Guatemala. Limita al norte con el departamento de Zacapa; al sur con la República de El Salvador y el departamento de Jutiapa; al este con la República de Honduras; y al oeste con los departamentos de Jalapa y Zacapa. Cuenta con una extensión territorial de 2,376 Km², y se encuentra a 170 Km. de la ciudad capital. Contando con una variedad de climas, dominando el templado-cálido. Este territorio es montañoso y posee numerosos ríos, que lamentablemente en la actualidad ya no son tan caudalosos ni tan frecuentes en el paisaje. Se encuentra entre las coordenadas 14° 47' 0" N, 89° W, en decimal 14.783333° -89.533333°, UTM 1635901 227298 16P, Zoom 6, Escala ± 1:100000 (Ministerio de Economía, 2017).

El departamento de Chiquimula cuenta con once municipios, los cuales son Chiquimula (cabecera municipal), Esquipulas, Concepción Las Minas, Quezaltepeque, Jocotán, Camotán, Olopa, Ipala, San Juan Ermita, San Jacinto y San José La Arada.

6.2 Municipio de Chiquimula

Según el Concejo Municipal de Chiquimula (2018), el municipio de Chiquimula tiene una extensión territorial de 372 kilómetros cuadrados, su topografía es muy variada e irregular, encontrando altitudes que van desde los 260 a los 1,816 msnm, lo que da como producto una diversidad de microclimas y relieves. El municipio se ubica a 170 kilómetros de distancia de la ciudad capital, tomando como acceso la ruta del atlántico, CA-9 norte y a 210 kilómetros sobre la ruta alterna o carretera CA-1 la cual pasa por los departamentos de Jutiapa y Santa Rosa.

6.3 Montaña El Gigante

La montaña El Gigante es parte de los municipios de Cabañas, Huité, San Diego y Zacapa, del departamento de Zacapa y el municipio de Chiquimula, del departamento del mismo nombre. En el municipio Chiquimula se encuentran ocho aldeas y siete caseríos dentro de la montaña el Gigante, las cuales son:

- Conacaste
- El Palmar
 - El Morral
 - El Nanzal

- Guayabillas
- El Carrizal
 - El Aguacate
- El Barrial
- El Limar
- Plan del Guineo
- El Durazno
 - El Colocho
 - El Limón
 - El Pinalón
- Las Tablas (Concejo Municipal de Chiquimula, 2018)

6.4 Zonas de vida

PROAM, citado por CEA-UVG (2006), indica que la zona de vida de montaña El Gigante se clasifica como Bosque Húmedo Sub-Tropical Templado, caracterizado por coníferas, robles y encinos.

6.5 Especies indicadoras de flora

Según CEA-UVG (2006) las especies arbóreas dominantes son los pinos (*Pinus sp.*) y los encinos (*Quercus sp.*). Dentro de los pinos la especie dominante es el pino colorado (*Pinus oocarpa* Schiede ex. Schltdl.), mientras que en los encinos las especies presentes son encino blanco (*Quercus sapotaefolia* Liebm.) y roble amarillo (*Quercus peduncularis* Née.) aunque siempre existe una variedad de encinos que es difícil de clasificar por la falta de elementos florísticos al momento de muestreo y que se reportan como *Quercus spp.*

6.6 Clima

Chegüen (2016), indica que según datos referidos de la estación Pinalito, que es tipo "C", ubicada en la parte alta de la aldea Pinalito a 1,087 msnm, la temperatura promedio anual es de 20 a 25 °C, los meses más calurosos son abril, mayo y junio mientras que los meses más fríos son noviembre, diciembre y enero. La precipitación promedio es de 1,562.16 mm/añual y la evapotranspiración promedio es de 1,447.87mm/añual.

6.7 Hidrología

La cabecera departamental de Chiquimula depende en gran proporción del agua subterránea, procedente de las zonas de recarga hídrica de la “montaña El Gigante”. El macizo de la “montaña El Gigante” está ubicado en el límite de dos cuencas: La del río Grande y la del Motagua. Dentro de este sistema, existen dos importantes subcuencas, Tacó y Huité, que a la vez poseen una serie de microcuencas que forman los tributarios de los ríos San José, Huité y Shusho (Chegüen, 2016).

En la figura 1 se presenta la red hidrológica y comunidades presentes en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula, en donde se da a conocer que la mayoría de las fuentes de agua presentes en la montaña nacen en el área de la aldea El Durazno.

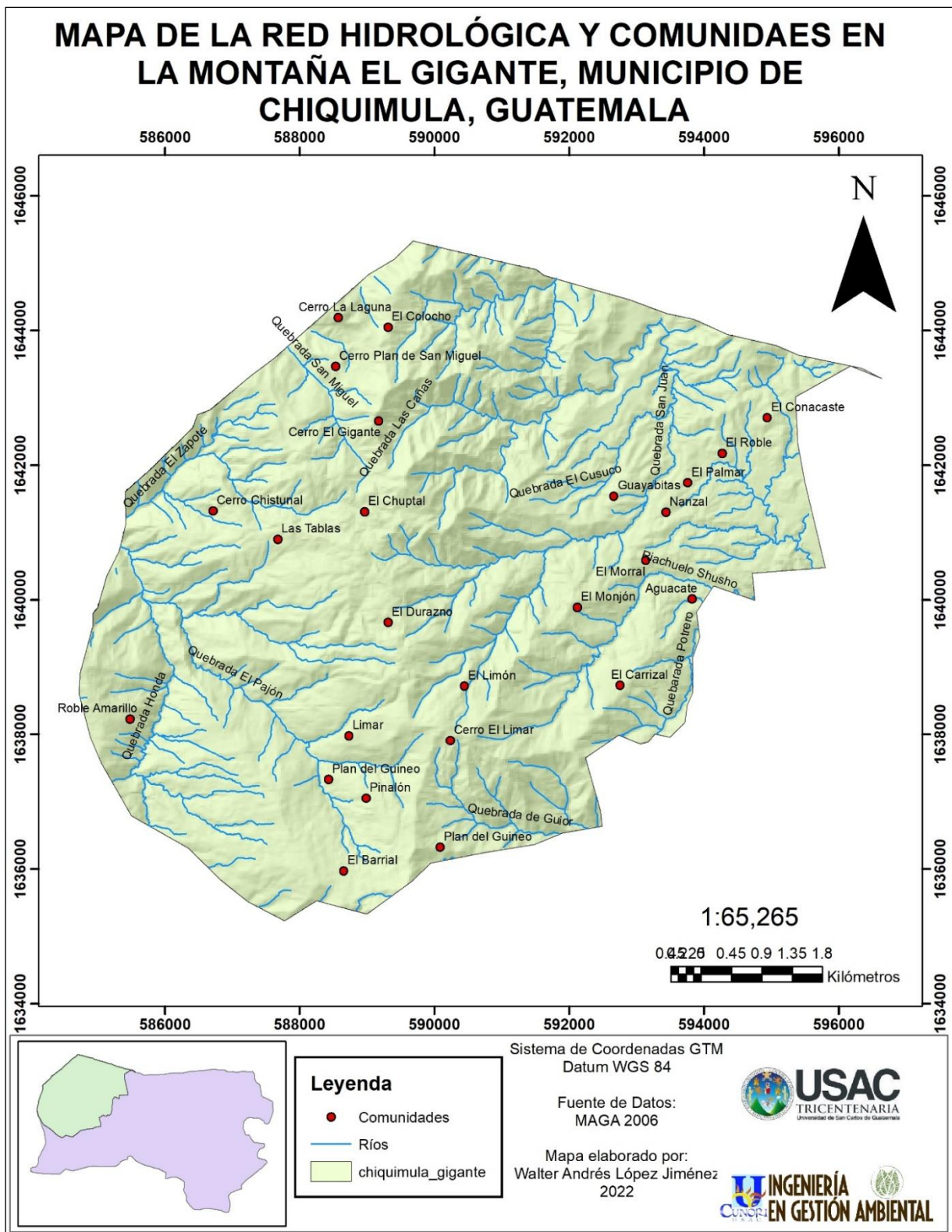


Figura 1. Red hidrológica de la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula

6.8 Investigaciones con el tema

- **Informe técnico de sitio bosque El Gigante aldea El Durazno, Chiquimula**

La investigación realizada por CEA-UVG (2006) tuvo como objetivo principal realizar un diagnóstico forestal y social de la comunidad El Durazno para la gestión de futuros financiamientos. Dicho informe cuenta con una descripción del área de estudio, enfocándose en los ámbitos social, forestal, económica, servicios básicos, gobernanza ambiental, entre otros.

Para la caracterización forestal del bosque se tomaron unidades de muestreo para contar con una representatividad del mismo, asimismo, se determinó que las especies fustales predominantes fueron el Encino, Encino blanco, Pino colorado y roble amarillo. Para la elaboración del informe también se realizó un pequeño análisis de agua a algunas fuentes de agua de la comunidad, en donde establece que las fuentes de agua muestreadas cuentan con bacterias fecales y escherichia coli en su totalidad.

- **Determinación de la calidad del agua en la corriente superficial de la microcuenca del Río Grande, ubicada en el municipio Concepción Las Minas, departamento de Chiquimula**

La investigación que realizó Salazar (2016), consistió en la determinación de la calidad del agua de la corriente superficial de la microcuenca del Río Grande, en el municipio de Concepción las Minas, para lo cual se estableció distintos puntos de control, tomando como criterio los centros poblados a lo largo de la corriente superficial de la microcuenca. Durante la etapa de campo se realizó cuatro monitoreos durante un año, entre los meses enero, abril, junio y octubre con la finalidad de evaluar la influencia de estación climática del área y las actividades antropogénicas.

Para la determinación de la calidad del agua se evaluó parámetros físicos, microbiológicos y químicos, con los valores determinados de los distintos parámetros evaluados se procedió a calcular el Índice de Calidad del Agua –ICA- en donde se determinó que el 20% de los puntos monitoreados obtuvo una calidad “regular” debido a la contaminación de parámetros

bacteriológicos, esto debido a actividades humanas que se realizan dentro de la microcuenca del Río Grande.

- **Caracterización de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho en el departamento de Chiquimula**

King (2017) realizó una caracterización de la calidad del agua en las microcuencas del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho en donde se estableció 18 puntos de control, en donde se evaluó la calidad y cantidad del recurso hídrico en las microcuencas ya mencionadas anteriormente, en donde se analizó 9 parámetros para determinar el Índice de Calidad de Agua –ICA- además de metales pesados.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que los parámetros de dureza, oxígeno disuelto, turbidez, fosfatos, coliformes fecales y totales se encuentran en los niveles superiores al límite máximo permisible en la totalidad de los puntos de control establecidos en los cuatro ríos monitoreados, establecidos por la OMS y la norma COGUANOR. El resultado final del Índice de Calidad de Agua –ICA- es “mala” según los límites máximos permisibles de COGUANOR y OMS.

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

Calderón (2021) realizó una caracterización de la calidad del agua en donde 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; en donde se evaluó 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 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.

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1 Determinación del área de estudio

Para determinar la calidad del agua, se establecieron puntos de monitoreo en las fuentes de agua (nacimientos) de la red hidrológica superficial de la montaña El Gigante, que se encuentra dentro los límites del municipio de Chiquimula, para determinar la calidad del agua.

7.2 Ubicación y estimación del número de fuentes de agua en la montaña El Gigante

Para estimar el número de fuentes (nacimientos) de agua existentes en el área de la montaña El Gigante que corresponde al municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula, se procedió de la forma siguiente:

- Se visitaron las comunidades que se encuentran en la montaña El Gigante en el municipio de Chiquimula.
- Se estableció comunicación con miembros del COCODE de las comunidades para dar a conocer la finalidad y en qué consistía la investigación.
- Se buscó a un guía comunitario para facilitar el acceso a las fuentes de agua (nacimientos) que se encuentran en la montaña El Gigante en la parte del municipio de Chiquimula.
- Se tomaron las coordenadas geográficas de cada nacimiento (fuente de agua) de la montaña El Gigante, en la jurisdicción del municipio de Chiquimula, con un GPS navegador.

7.3 Establecimiento de puntos de control en las fuentes de agua de la montaña El Gigante

Para el establecimiento de puntos de control en las fuentes (nacimientos) de agua de la montaña El Gigante, se usó la fórmula para el cálculo del tamaño óptimo de una muestra conociendo la población, en donde la fórmula es:

$$\frac{N * Z_a^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_a^2 * p * q}$$

Donde:

N = tamaño de la población;

Z = nivel de confianza;

P = probabilidad de éxito, o proporción esperada;

Q = probabilidad de fracaso;

D = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción).

Para la presente investigación, se determinó una población total de 29 nacimientos, según información facilitada por los pobladores de las comunidades de la montaña, con una precisión de 13% y una proporción esperada de 50%.

$$N = 29$$

$$Z = 1.96$$

$$p = 50\%$$

$$q = 50\%$$

$$d = 17\%$$

$$n = \frac{29*(1.96)^2*0.50*0.50}{0.17^2*(29-1)+(1.96)^2*0.50*0.50} = 16 \text{ muestras}$$

7.4 Determinación de caudales

Para la determinación de los caudales se utilizó el método de volumen y tiempo (volumétrico) debido a las características de los nacimientos que existen en la montaña El Gigante ya que poseen pequeños caudales. Donde la fórmula es la siguiente:

$$Q = V / T$$

Donde:

Q = caudal, en l/s ó m³/s.

V = volumen del depósito, en l ó m³.

T = Tiempo en que se llena el depósito, en s.

7.5 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, para garantizar los resultados obtenidos a nivel de campo y laboratorio. Los materiales y equipos utilizados en la recolección de las muestras de agua son los siguientes:

- Libreta de campo
- GPS
- Dispositivo portátil multi-parámetros (previamente calibrado)
- Botellas plásticas color blanco de 1 L (físicoquímico)
- Botellas plásticas color transparente de 125 ml (microbiológico)
- Hielera con hielo

Para la preparación de los recipientes utilizados en la recolección de las muestras se realizó el siguiente procedimiento:

- Los recipientes fueron preparados mediante el lavado con detergente libre de fosfatos (PO4-3) 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.

7.6 Toma de la muestra de agua

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

- Colecta de la muestra: Una vez homogenizada la muestra, se procedió a la recolección de muestra; esta se llevó a cabo en dos tipos de recipientes según los parámetros a evaluar, estos se encontraron esterilizados y herméticamente sellados hasta el momento de la recolección de la muestra. Para el caso de los parámetros físico-químicos, se recolectó el agua utilizando 1 botella plástica, con capacidad de 1L c/u. Para los parámetros bacteriológicos, se utilizó 1 bote plástico especial para ese fin, con capacidad de 125 ml. En ambos casos se dejará un espacio de aire dentro del recipiente para facilitar la agitación del agua en el mismo.
- Luego de tomar la muestra fueron identificadas los recipientes etiquetándolos con nombre del lugar donde fue tomada la muestra, fecha y hora.

7.7 Preservación y transporte de las muestras de agua

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

Una vez tomadas las muestras de agua, se procedió a cerrar herméticamente el frasco evitando cualquier derrame del líquido, conservándolo 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 se trasladaron 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 de las muestras.

7.8 Parámetros a evaluar

7.8.1 Parámetros a medir in situ

- Potencial de hidrogeno (unidades de pH).
- Temperatura (°C).
- Oxígeno disuelto (mg/L).
- Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (%)
- Conductividad eléctrica (μS/cm).

7.8.2 Parámetros en laboratorio

Parámetros físicos

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

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)

Parámetros microbiológicos

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mg/L)
- Coliformes Totales (en NMP/100 mg/L)
- Escherichia Coli (en NMP/100 mg/L)

Se tomaron como base los límites máximos aceptables y permisibles establecidos por la norma COGUANOR NGO 29.001, del Ministerio de Economía de Guatemala.

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

7.9 Determinación del Índice Canadiense de Calidad del Agua, CCME_WQI

La metodología empleada para la investigación fue el método Canadian Water Quality Index, conocida como CCME_WQI (por sus siglas en inglés). Este método fue desarrollado para simplificar el reporte de los datos de calidad de las aguas. Este índice 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 a análisis de laboratorio que se realiza para cada parámetro.

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

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

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 calculará 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:

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

A continuación, se calculará 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):

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

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

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

Este índice tiene como ventaja que no requiere de realizar transformaciones a los parámetros que participan de la evaluación y evita la subjetividad de asignar diferente importancia o peso 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 en su elaboración no se 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 para la calidad del agua según la metodología del Índice de Calidad de Agua Canadiense se compone de cinco categorías, las cuales son:

- **Excelente: (95-100)** - La condición del recurso es casi igual a la de su estado natural, sin apenas deterioro de su calidad.
- **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.
- **Regular: (65-79)** – La condición del recurso a veces difiere de su estado natural lo deseado, la calidad del agua esta ocasionalmente perjudicada.
- **Marginal: (45-64)** – La condición del recurso en numerosas ocasiones difiere de su estado natural a lo deseado, la calidad se deteriora frecuentemente.
- **Pobre: (0-40)** – La condición del recurso usualmente difiere de su estado natural o lo deseado, la calidad casi siempre está deteriorada.

7.10 Periodo del estudio

El periodo comprendido para la toma de datos y análisis de las muestras se realizó mediante dos muestreos, uno en la época seca (marzo) y uno en época lluviosa (agosto), dado que el cambio

en los caudales, producto de las precipitaciones, afecta la composición química del agua, dando resultados distintos en cada época de muestreo.

7.11 Análisis de la información

Con la información recabada en campo y laboratorio se procedió a trasladar los datos a una hoja de cálculo de Microsoft Excel para obtener los datos porcentuales para determinar el valor de cada una de las variables, así como también las coordenadas recabadas en campo para la realización de mapas para una mejor apreciación de la información recabada.

Con cada dato que se obtuvo de los parámetros a evaluar se procedió a calcular el Índice Canadiense de Calidad del Agua para determinar y analizar la calidad que tiene el agua en los nacimientos evaluados. Asimismo, se realizó una comparación acerca del comportamiento de los caudales en las distintas fuentes de agua.

7.12 Propuesta de lineamientos generales para la gestión del recurso hídrico

A partir de los resultados de calidad y cantidad de agua, se realizó una propuesta de lineamientos orientada hacia una gestión adecuada del recurso hídrico en las comunidades de la montaña El Gigante en el municipio de Chiquimula; con el fin de mantener su calidad y cantidad en los años venideros.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Fuentes de agua de la montaña El Gigante

Durante la fase de campo se identificaron 29 fuentes de agua en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula; principalmente en la comunidad El Durazno, en la parte alta de la montaña en el área de Chiquimula, que limita con el departamento de Zacapa.

La metodología utilizada para la recolección de la información fue la de toma de datos en campo para la identificación de cada fuente de agua y su posterior georreferenciación.

En la tabla 1, se muestran las fuentes de agua identificadas en el área de estudio y en la figura 2 se presenta la ubicación de las 29 fuentes de agua identificadas en la montaña el Gigante, municipio de Chiquimula.

Tabla 1. Fuentes de agua en montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Comunidad	Coordenadas	
				X_GTM	Y_GTM
1	Nacimiento 1	Pila grande	El Durazno	589340	1639554
2	Nacimiento 2	Última Pila	El Durazno	589286	1639572
3	Nacimiento 3	Pilona	El Durazno	589246	1639579
4	Nacimiento 4	El Mojón	El Durazno	589115	1639348
5	Nacimiento 5	El Níspero	El Durazno	589234	1639664
6	Nacimiento 6	El Chagüital	El Durazno	588985	1639769
7	Nacimiento 7	Pozo de agua primera pila	El Durazno	589072	1640157
8	Nacimiento 8	Primera Pila	El Durazno	589071	1640166
9	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	El Durazno	589017	1640230
10	Nacimiento 10	Los Calambres	El Chuptal	589115	1641187
11	Nacimiento 11	La Laguna	El Chuptal	589120	1641803
12	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	El Chuptal	588986	1640988
13	Nacimiento 13	Los Agustines	El Chuptal	588943	1641009
14	Nacimiento 14	Los Barrancos	El Chuptal	589022	1641063
15	Nacimiento 15	Las Huertas	El Chuptal	589247	1640509
16	Nacimiento 16	Margarito Pérez	El Chuptal	589288	1640520
17	Nacimiento 17	El Barrancón	El Durazno	588950	1639848
18	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	El Durazno	589502	1639882
19	Nacimiento 19	El Aguacate	El Durazno	589065	1640065
20	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	El Durazno	589056	1640060
21	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	El Durazno	589789	1639842
22	Nacimiento 22	El Maizal	El Durazno	589714	1639553
23	Nacimiento 23	El Aguacate	El Durazno	589761	1639550
24	Nacimiento 24	Odilia García	El Durazno	589760	1639557
25	Nacimiento 25	Odilia García 2	El Durazno	589761	1639558
26	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	El Limón	589760	1638976
27	Nacimiento 27	Aldea El Limón	El Limón	590350	1638411
28	Nacimiento 28	El Cujal	El Chuptal	589147	1640638
29	Nacimiento 29	Laguna entrada El Durazno	El Durazno	589514	1639316

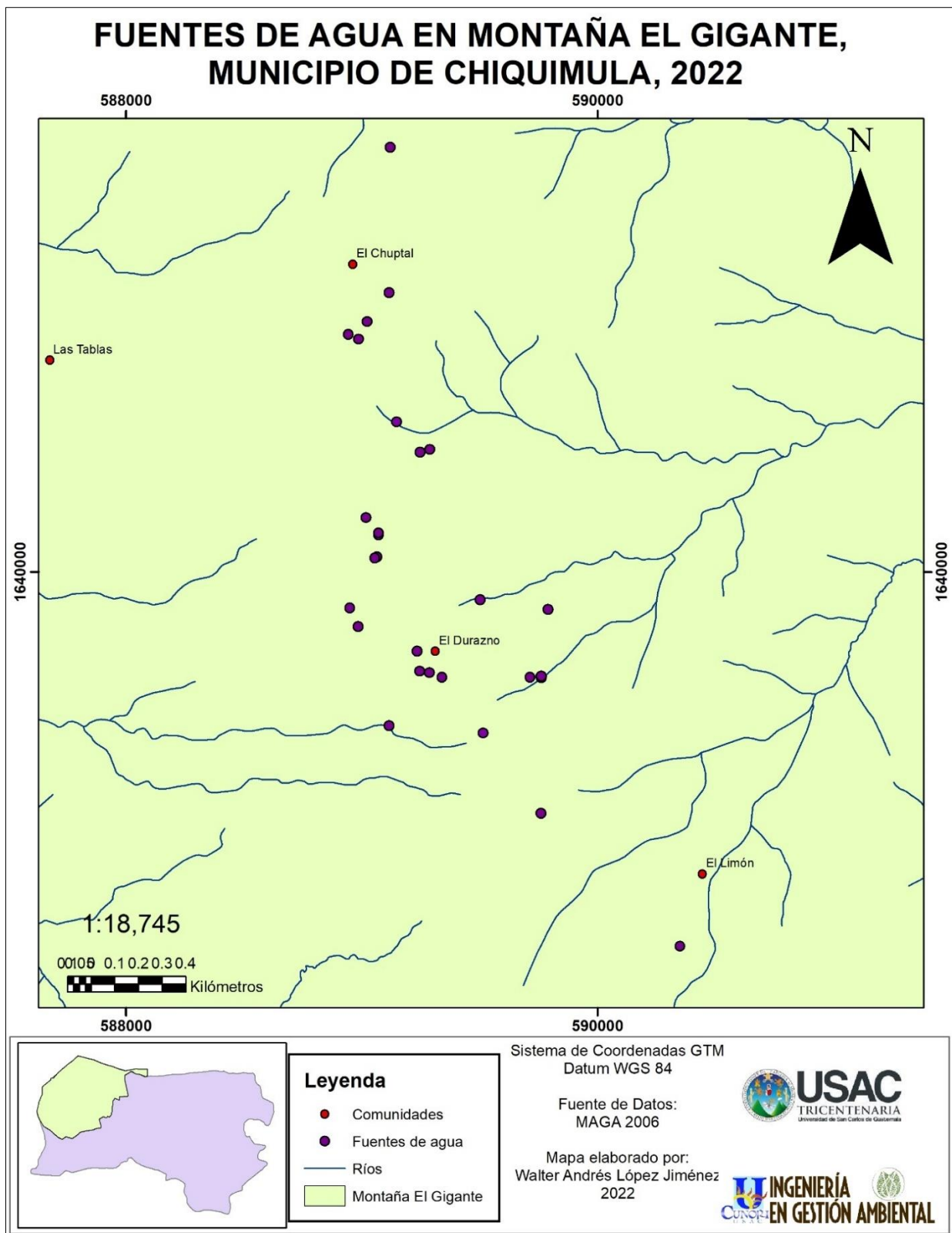


Figura 2. Mapa de ubicación de las 29 fuentes de agua de montaña El Gigante, municipio de Chiquimula

8.2 Puntos de monitoreo establecidos en las fuentes de agua de la montaña El Gigante

Se establecieron 16 puntos de control, en la red hidrológica de la montaña El Gigante, ubicada en el municipio de Chiquimula, Chiquimula, conformada por 29 nacimientos de agua, ubicados en diferentes puntos de las comunidades de la montaña, los cuales la mayoría se encuentran cercanos a las áreas pobladas de la montaña. En la tabla 2 se presenta los nacimientos ubicados en montaña El Gigante, municipio de Chiquimula.

Tabla 2. Puntos de monitoreo establecidos en las fuentes de agua de la montaña El Gigante

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Comunidad	Coordenadas	
				X_GTM	Y_GTM
1	Nacimiento 1	Pila grande	El Durazno	589340	1639554
2	Nacimiento 2	Última Pila	El Durazno	589286	1639572
3	Nacimiento 6	El Chagüital	El Durazno	588985	1639769
4	Nacimiento 8	Primera Pila	El Durazno	589071	1640166
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	El Durazno	589017	1640230
6	Nacimiento 10	Los Calambres	El Durazno	589115	1641187
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	El Chuptal	588986	1640988
8	Nacimiento 13	Los Agustines	El Chuptal	588943	1641009
9	Nacimiento 15	Las Huertas	El Chuptal	589247	1640509
10	Nacimiento 17	El Barrancón	El Chuptal	588950	1639848
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	El Durazno	589502	1639882
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	El Durazno	589056	1640060
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	El Durazno	589789	1639842
14	Nacimiento 22	El Maizal	El Durazno	589714	1639553
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	El Limón	589760	1638976
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	El Limón	590350	1638411

Para el análisis de la distribución de los puntos de control, se tomaron en cuenta, aquellos afluentes de agua que atraviesan aldeas y caseríos de la montaña El Gigante, se dio énfasis a los nacimientos que abastecen a las pilas comunales de los centros poblados. Los nacimientos a evaluar se determinaron al azar con el fin de determinar el Índice Canadiense de Calidad del Agua, CCME_WQI por medio de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se realizaron a nivel de campo y laboratorio.

El período de toma de datos y los muestreos en los puntos establecidos se realizaron en 6 meses, comprendidos estos de agosto de 2020 a marzo de 2021, realizando un total de 2 monitoreos; los cuales se realizaron la primera semana de cada mes correspondiente.

8.3 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados en las fuentes de la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula

Con el objetivo de determinar la calidad del agua de las principales fuentes de agua de la montaña El Gigante se evaluó 16 parámetros físicos, químicos y microbiológicos de cada una de las muestras de agua recolectada en dos monitoreos durante los meses de agosto 2020 y marzo 2021. Los parámetros determinados fueron: potencial de hidrógeno -pH-, temperatura, turbidez, conductividad, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, dureza, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, sólidos totales, demanda biológica de oxígeno DBO₅, E. Coli, Coliformes totales y Coliformes fecales. Los resultados obtenidos a nivel de laboratorio se describen a continuación.

8.3.1 Potencial de hidrógeno pH

El pH del agua indica los efectos adversos de sustancias como hierro, aluminio, amoníaco, mercurio y otros elementos que son arrastrados por la escorrentía o infiltradas de áreas agrícolas, domésticas e industriales; siendo uno de los parámetros de mayor importancia que determina la calidad del agua, dado a que permite establecer que tan ácida o básica es una solución, que va en un rango de 1 a 14 unidades.

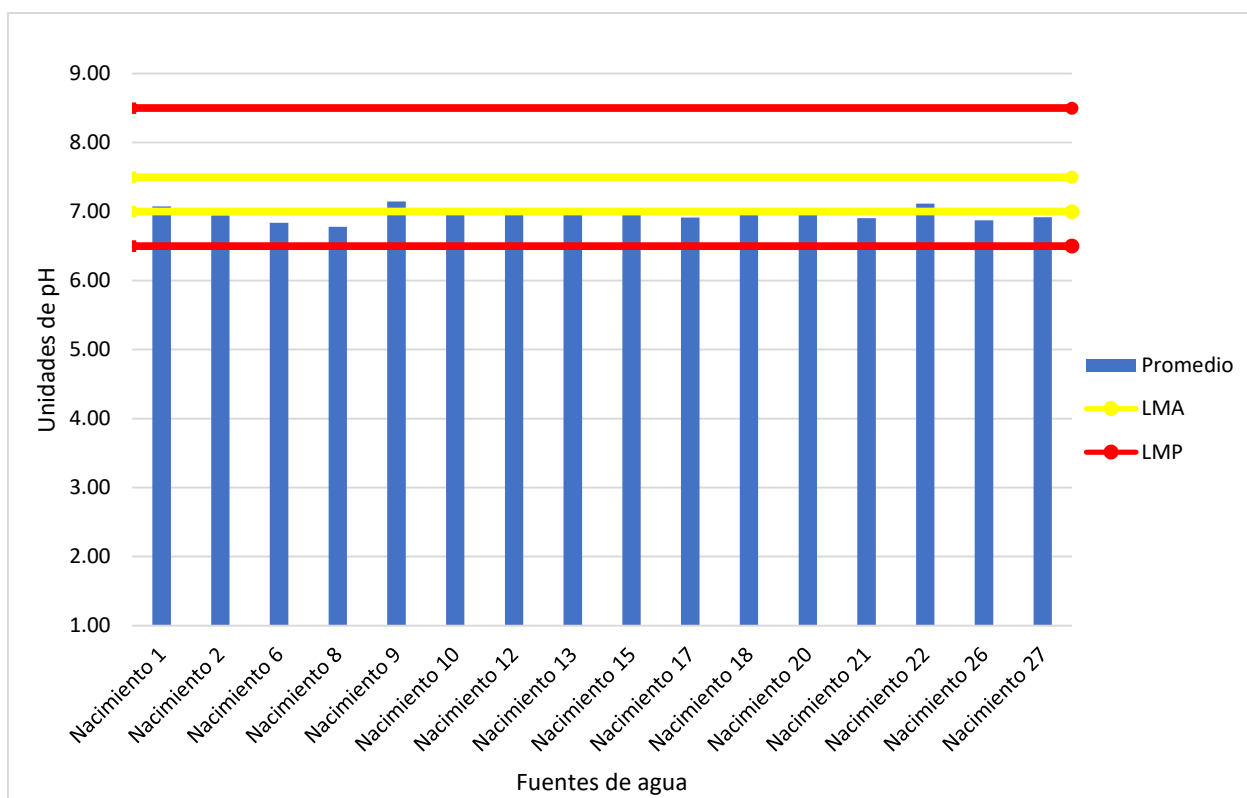
En la tabla 3, se presentan los resultados del potencial de hidrógeno del agua en 16 fuentes de agua (nacimientos) de la montaña El Gigante, para cada uno de los dos monitoreos y el valor promedio. Los resultados muestran que el pH está dentro del límite máximo permisible; durante el primer monitoreo la fuente de agua “Nacimiento 6” presenta un pH de 6.76 unidades y la fuente de agua “Nacimiento 1” presenta un pH de 7.17 unidades, el “Nacimiento 8” presenta el valor promedio menor con 6.78 unidades de pH y el “nacimiento 9” presenta el mayor promedio de pH con 7.15 unidades.

Tabla 3. Potencial de hidrogeno del agua para las fuentes de agua de la montaña El Gigante

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Potencial de hidrogeno (pH)		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	7.17	6.98	7.08
2	Nacimiento 2	Última Pila	6.97	6.92	6.95
3	Nacimiento 6	El Chagüital	6.76	6.92	6.84
4	Nacimiento 8	Primera Pila	6.90	6.66	6.78
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	7.07	7.22	7.15
6	Nacimiento 10	Los Calambres	6.94	7.15	7.05
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	7.02	6.97	7.00
8	Nacimiento 13	Los Agustines	6.98	7.07	7.03
9	Nacimiento 15	Las Huertas	6.94	6.96	6.95
10	Nacimiento 17	El Barrancón	6.89	6.94	6.92
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	6.86	7.11	6.99
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	7.03	7.06	7.05
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	6.88	6.93	6.91
14	Nacimiento 22	El Maizal	7.19	7.04	7.12
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	6.88	6.87	6.88
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	6.83	7.01	6.92
LMA	7.0 - 7.5		LMP	6.5 - 8.5	

Los valores de pH en las fuentes de agua muestreadas se comportan de manera homogénea en ambas épocas, probablemente se deba a la reducida precipitación que ocurrió en la época lluviosa del año 2020. En la figura 1, se muestran los valores promedio del potencial de hidrógeno de la fuente de agua muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 62% de las fuentes de agua tiene un pH menor a 7.0 unidades y el restante 38% pH mayor a las 7.0 unidades; sin embargo, la totalidad de las fuentes de agua muestreadas se encuentran dentro del límite máximo permisible.

Figura 3. Promedio de potencial de hidrógeno pH, en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.2 Temperatura del agua en °C

La temperatura del agua tiene gran importancia por el hecho de que los organismos requieren ciertas condiciones de temperatura para sobrevivir, influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad de agua como: el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas. La elevación de la temperatura disminuye la solubilidad de gases como el oxígeno e incrementa, en general, la solubilidad de las sales; también, aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la degradación de la materia orgánica.

En la tabla 4, se presentan los resultados de la temperatura del agua en las 16 fuentes de agua (nacimientos) de la montaña El Gigante, para cada uno de los dos monitoreos, así como el valor promedio. Los resultados muestran que en el primer monitoreo la temperatura del agua oscila de 25.10 a 27.70 °C; la cual es superior al límite máximo aceptable (LMA); para el segundo monitoreo la temperatura del agua oscila de 21.10 a 26.60 °C, donde dos fuentes de agua se

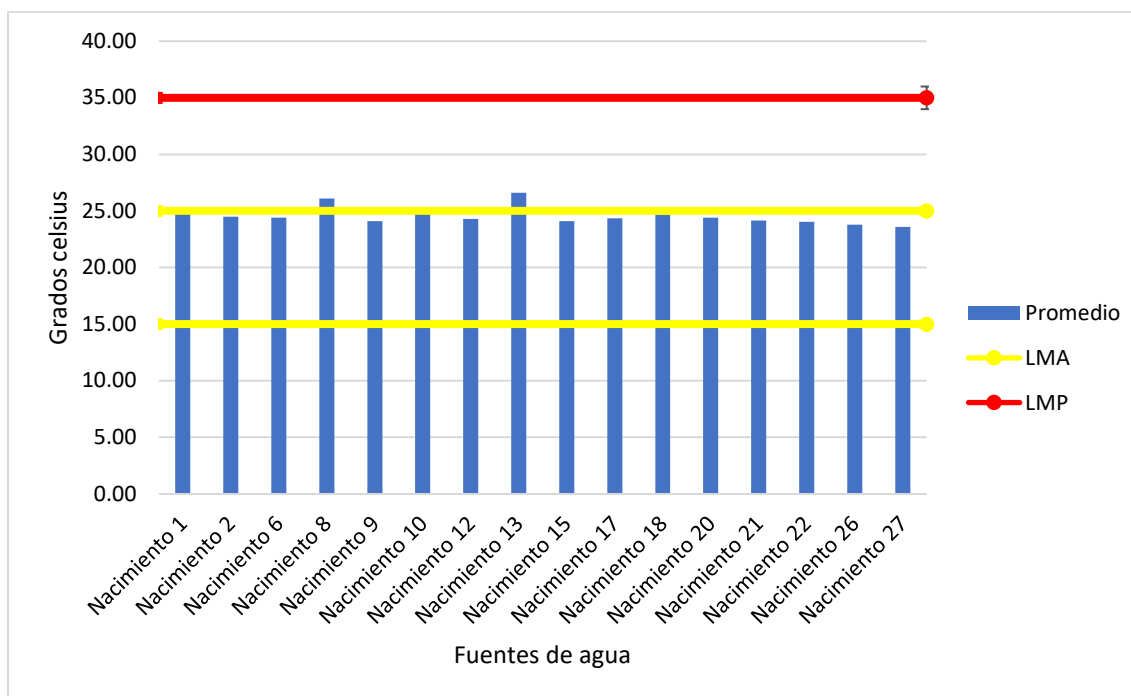
encuentran fuera del límite máximo aceptable (LMA), y los promedios de temperatura del agua de los dos monitoreos que oscila de 23.60 a 26.60 °C.

Tabla 4. Temperatura del agua de las fuentes de la montaña El Gigante

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Temperatura C°		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	27.70	22.90	25.30
2	Nacimiento 2	Última Pila	27.50	21.50	24.50
3	Nacimiento 6	El Chagüital	27.70	21.10	24.40
4	Nacimiento 8	Primera Pila	27.00	25.20	26.10
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	26.90	21.30	24.10
6	Nacimiento 10	Los Calambres	26.70	24.00	25.35
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	26.50	22.10	24.30
8	Nacimiento 13	Los Agustines	26.60	26.60	26.60
9	Nacimiento 15	Las Huertas	26.60	21.60	24.10
10	Nacimiento 17	El Barrancón	26.50	22.20	24.35
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	26.50	22.80	24.65
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	26.60	22.22	24.41
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	26.50	21.80	24.15
14	Nacimiento 22	El Maizal	26.50	21.60	24.05
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	26.50	21.10	23.80
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	25.10	22.10	23.60
LMA	15.0 - 25.0 C°		LMP	34.0 C°	

Los datos de temperatura en los dos monitoreos son bastante homogéneos, esto debido a las condiciones climáticas y geológicas que se encuentran en montaña El Gigante, Chiquimula. En la figura 4, se muestran los valores promedio de la temperatura del agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 75% de las fuentes de agua están dentro del límite máximo aceptable, mientras que el 100% se encuentran por debajo del límite máximo permisible.

Figura 4. Temperatura promedio del agua de las fuentes de la montaña El Gigante



8.3.3 Conductividad eléctrica del agua

Representa la cantidad de iones disueltos en un medio, determina la capacidad de conducir electricidad, está relacionada con la cantidad de materia sólida flotante (sales) y la dureza el agua; la temperatura es un factor clave que se relaciona con la conducción de electricidad en un cuerpo de agua. La conductividad aumenta un 2% por grado centígrado de temperatura.

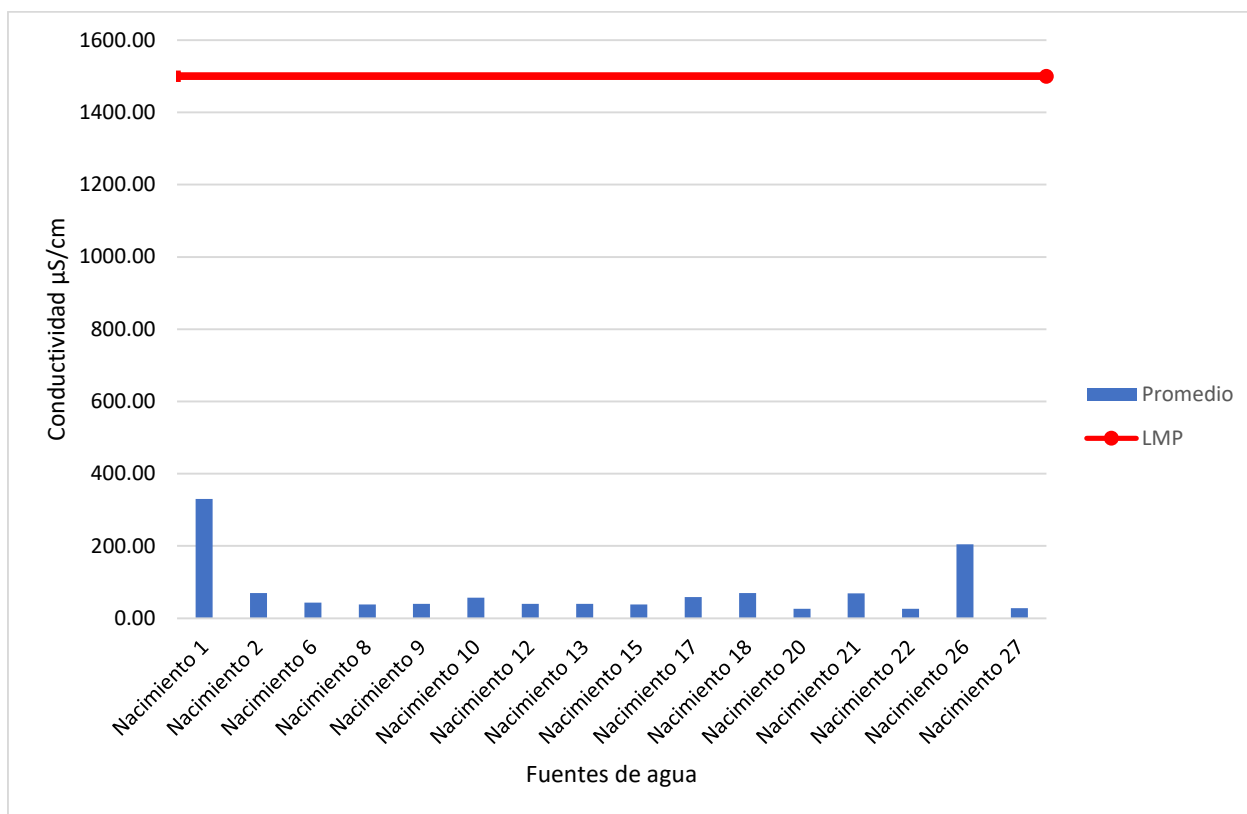
En la tabla 5 se observan los resultados promedios obtenidos en los 2 monitoreos; se registran valores que no sobrepasan el límite máximo aceptable ya que los valores se encuentran por debajo de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$; en el primer monitoreo el nacimiento 1 presentó el mayor valor de 620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el valor más bajo fue el nacimiento 22 con 10.79 $\mu\text{S}/\text{cm}$; para el segundo monitoreo el nacimiento 18 presentó el valor más bajo con 29.10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el nacimiento 26 presentó el valor más alto con 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tomando en cuenta los valores promedio, el nacimiento 20 presentó los valores más bajos con 26.35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el nacimiento 1 presentó los valores más altos de conductividad eléctrica de 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabla 5. Conductividad eléctrica del agua de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Conductividad $\mu\text{S/cm}$		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	620.00	40.00	330.00
2	Nacimiento 2	Última Pila	65.20	74.60	69.90
3	Nacimiento 6	El Chagüital	29.20	57.00	43.10
4	Nacimiento 8	Primera Pila	37.20	39.60	38.40
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	18.27	61.60	39.94
6	Nacimiento 10	Los Calambres	57.50	56.10	56.80
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	12.28	67.80	40.04
8	Nacimiento 13	Los Agustines	30.20	49.10	39.65
9	Nacimiento 15	Las Huertas	40.00	36.70	38.35
10	Nacimiento 17	El Barrancón	36.90	80.20	58.55
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	110.30	29.10	69.70
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	21.64	31.20	26.42
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	60.20	77.80	69.00
14	Nacimiento 22	El Maizal	10.79	41.90	26.35
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	29.20	380.00	204.60
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	13.52	43.00	28.26
LMA	No se registra		LMP	< 1500	

En la figura 5, se muestran los valores promedio de conductividad eléctrica del agua en las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua están dentro del límite máximo permisible, probablemente debido a la baja cantidad de sales minerales y las condiciones climáticas presentes en el área de estudio.

Figura 5. Promedio de conductividad en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.4 Oxígeno disuelto

Es el oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, proveniente principalmente del oxígeno absorbido de la atmósfera por el movimiento constante del agua en los cuerpos de agua superficiales, otra fuente de oxígeno disuelto es la fotosíntesis del fitoplancton, las algas y las plantas acuáticas (eliminan dióxido de carbono y lo reemplazan con oxígeno). La baja concentración de oxígeno disuelto puede estar relacionada a una alta carga orgánica provocada por aguas residuales o exceso de materia orgánica en descomposición.

El oxígeno disuelto en el agua es de suma importancia porque mide la cantidad de oxígeno gaseoso contenido en una solución, el oxígeno entra en el agua por medio de la difusión del aire circulante a través de un movimiento rápido.

En la tabla 6, se presentan los resultados del oxígeno disuelto en el agua en las 16 fuentes de agua (nacimientos) de la montaña El Gigante, para cada uno de los dos monitoreos y el valor promedio. Los resultados muestran que el oxígeno disuelto está dentro del límite máximo aceptable; en el primer monitoreo la fuente de agua “nacimiento 2” presenta la menor

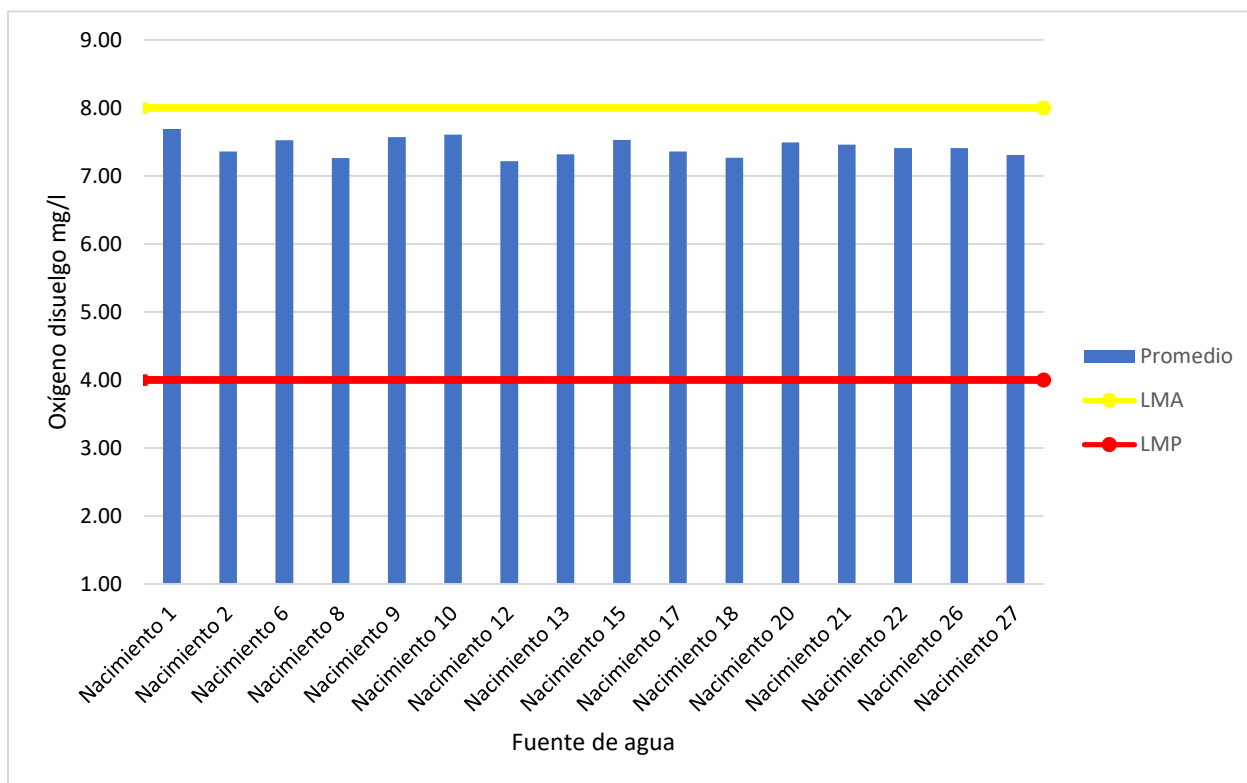
concentración con 6.99 mg/l y la fuente de agua “nacimiento 1” presenta la concentración más alta con 7.70 mg/l; para el segundo monitoreo la fuente de agua “nacimiento 12” presenta la menor concentración con 7.39 mg/l y la fuente de agua “nacimiento 9” la mayor concentración con 8.06 mg/l. Considerando los valores promedió, la fuente de agua “nacimiento 12” presentó la menor concentración con 7.22 mg/l y la fuente de agua “nacimiento 1” la mayor concentración con 7.69 mg/l.

Tabla 6. Oxígeno disuelto del agua en las fuentes de la montaña El Gigante

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Oxígeno disuelto mg/l		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	7.70	7.68	7.69
2	Nacimiento 2	Última Pila	6.99	7.73	7.36
3	Nacimiento 6	El Chagüital	7.18	7.87	7.53
4	Nacimiento 8	Primera Pila	7.00	7.53	7.27
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	7.08	8.06	7.57
6	Nacimiento 10	Los Calambres	7.32	7.90	7.61
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	7.05	7.39	7.22
8	Nacimiento 13	Los Agustines	7.01	7.63	7.32
9	Nacimiento 15	Las Huertas	7.28	7.78	7.53
10	Nacimiento 17	El Barrancón	7.05	7.67	7.36
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	7.08	7.46	7.27
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	7.18	7.81	7.50
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	7.07	7.85	7.46
14	Nacimiento 22	El Maizal	7.03	7.79	7.41
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	7.19	7.63	7.41
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	6.99	7.63	7.31
LMA	8 mg/l		LMP	4 mg/l	

En la figura 6, se muestran los valores promedio del oxígeno disuelto del agua en las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua se encuentran en medio de los límites máximos permisibles y aceptables, esto debido a la aireación que reciben los nacimientos, también puede ser debido a la altitud en que se encuentran los nacimientos.

Figura 6. Valores promedio del oxígeno disuelto del agua en las fuentes de montaña El Gigante



8.3.5 Turbidez

Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua. Mide de cuántos sólidos (arena, arcilla y otros materiales) se encuentran en suspensión en el cuerpo de agua. Mientras más sucia parecerá que está, más alta será la turbidez.

La turbidez se reporta en unidades nefelométricas (NTU, por sus siglas en inglés). Durante períodos de flujo bajo (flujo normal), muchos ríos llevan agua de un color verde claro y el nivel de turbidez es bajo, usualmente menos de 10 NTU. Durante una tormenta, partículas del suelo de los alrededores tienen contacto con el nacimiento, originando que el agua se torne de color café, lo cual, indica que el agua tiene valores de turbidez altos. Asimismo, durante flujos altos, las velocidades del agua se incrementan igual que los volúmenes del agua, lo cual propicia que la misma velocidad del agua revuelva las materias suspendidas en el fondo del nacimiento, causando turbidez mayor.

En la tabla 7, se muestran los resultados de la turbidez para cada punto de control establecido en los nacimientos de la montaña El Gigante durante los dos monitoreos realizados. Los resultados muestran que en el primer monitoreo la turbidez oscila 0.51 NTU y 137 NTU, la cual 9 nacimientos sobrepasan el límite máximo aceptable, mientras que 5 nacimientos sobrepasan el límite máximo permisible; para el segundo monitoreo, el nivel de turbidez oscila entre 1 NTU y 433 NTU, la cual, el límite máximo aceptable es superado por 9 nacimientos y el límite máximo aceptable por 5 nacimiento. Tomando los valores de los dos monitoreos, se determina que el nacimiento 21 presentó un promedio de turbidez más bajo con 0.78 NTU, mientras que el nacimiento 22 presentó el grado de turbidez más alto con 216.76 NTU.

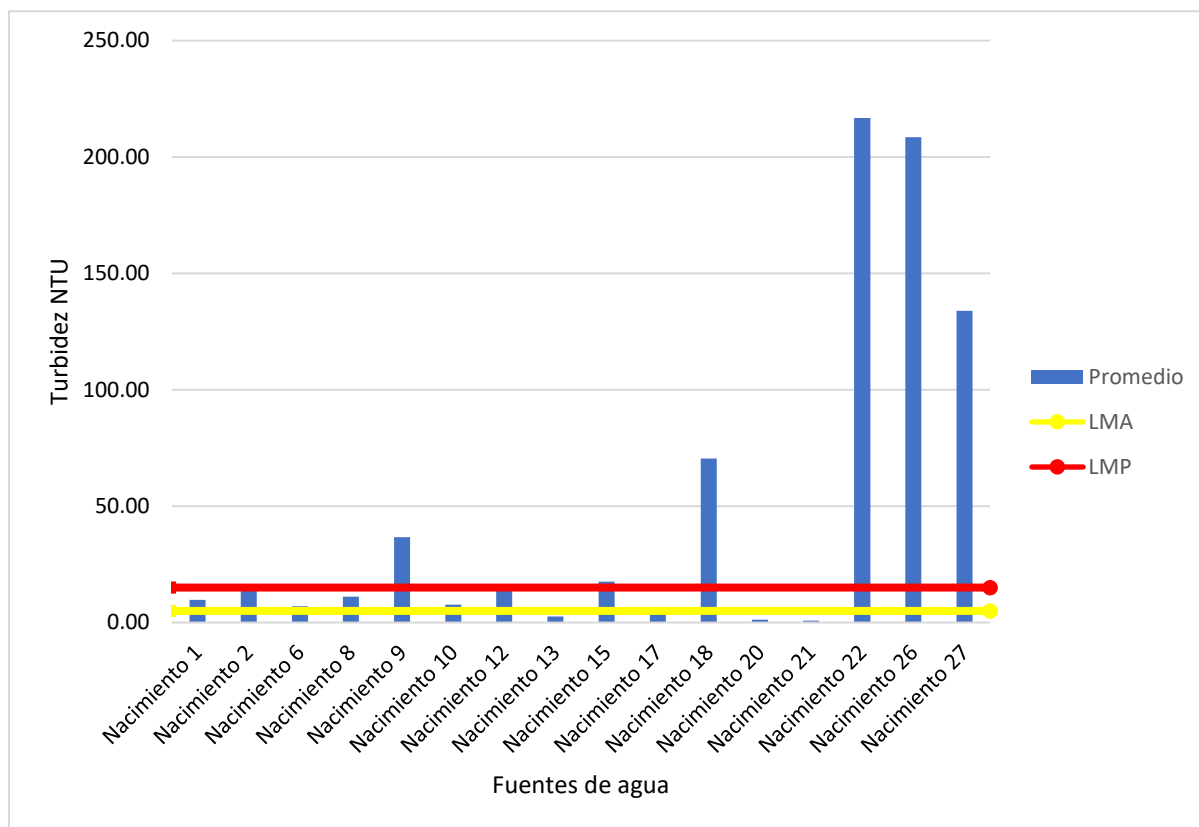
Tabla 7. Turbidez de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Turbidez NTU		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	17.50	2.00	9.75
2	Nacimiento 2	Última Pila	28.50	2.00	15.25
3	Nacimiento 6	El Chagüital	4.06	10.00	7.03
4	Nacimiento 8	Primera Pila	11.20	11.00	11.10
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	7.39	66.00	36.70
6	Nacimiento 10	Los Calambres	2.26	13.00	7.63
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	14.90	15.00	14.95
8	Nacimiento 13	Los Agustines	2.25	3.00	2.63
9	Nacimiento 15	Las Huertas	26.20	9.00	17.60
10	Nacimiento 17	El Barrancón	6.75	4.00	5.38
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	137.00	4.00	70.50
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	1.58	1.00	1.29
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	0.55	1.00	0.78
14	Nacimiento 22	El Maizal	0.51	433.00	216.76
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	0.90	416.00	208.45
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	27.90	240.00	133.95
LMA	5 NTU		LMP	15 NTU	

En la figura 7, se muestran los valores promedio de turbidez del agua en las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 18.75% de las fuentes de agua están dentro del límite máximo aceptable, mientras que el 37.5% se encuentra dentro del límite máximo permisible;

el 43.75% supera ambos límites. Los valores que superan el límite máximo permisible se deben principalmente a las aguas grises provenientes de las pilas comunales y a las partículas de suelo que entran en contacto con los cuerpos de agua afectando la transparencia de los mismos.

Figura 7. Promedio de turbidez en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.6 Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales representan la suma de sales inorgánicas (como calcio, magnesio, cloruro, bicarbonato, sulfatos, potasios entre otros), así como cantidades pequeñas de materia orgánica que están disueltas en el cuerpo de agua. Su presencia en niveles altos indica un alto índice de contaminación.

Una alta concentración de sólidos en el agua puede provocar diversos efectos, como por ejemplo, comunicar un sabor y olor desagradables al agua, aumentar la salinidad, provocar variaciones en la solubilidad del oxígeno en el medio y sirve como medio para el transporte de pesticidas, metales pesados y bacterias, además pueden tener el efecto de aumentar el grado de turbidez del agua, impidiendo que la luz penetre correctamente, dando lugar a una reducción de la tasa fotosintética,

al crecimiento de las plantas y a la reducción de la población de la peces y crustáceos. Las partículas de los sólidos disueltos pueden provenir de las aguas residuales, de la erosión natural y malas prácticas agrícolas y la construcción.

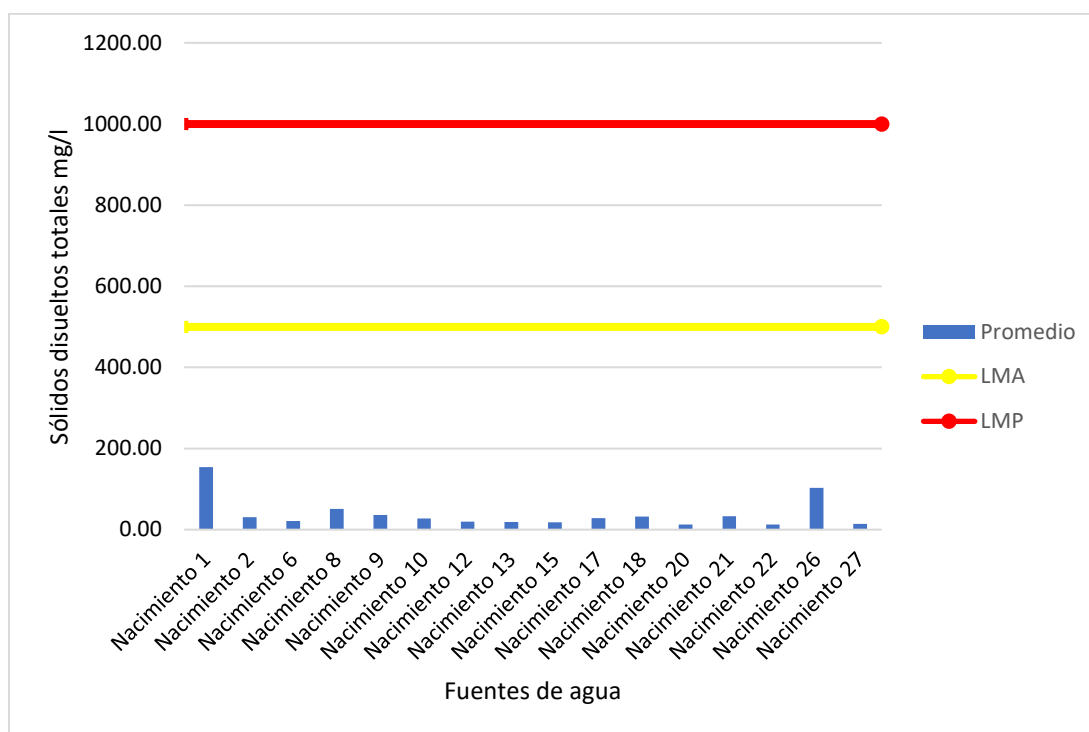
En la tabla 8, se muestran las concentraciones de sólidos disueltos totales, los cuales ninguno de los 16 puntos supera el límite máximo aceptable; en el primer monitoreo el nacimiento 22 presentó el valor más bajo de sólidos disueltos totales con 4.84 mg/l y el nacimiento 1 presentó el valor más alto con 288 mg/l. Mientras que en el segundo monitoreo el nacimiento 18 presentó el valor más bajo con 14.24 mg/l y el nacimiento 26 presentó el valor más alto con 193.4 g/l. Contando los valores promedios de los dos monitoreos, el nacimiento 20 presentó un valor de 12.61mg/l y el nacimiento 1 presentó el valor más alto con 154mg/l. El nacimiento 1 presentó el valor más alto en promedio, esto se dio a que la fuente de agua es muy vulnerable, probablemente debido a las aguas grises, erosión provenientes de las actividades que se realizan en la Pila Grande.

Tabla 8. Sólidos disueltos totales de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Sólidos Disueltos Totales mg/l		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	288.00	20.00	154.00
2	Nacimiento 2	Última Pila	23.90	37.80	30.85
3	Nacimiento 6	El Chagüital	13.09	29.00	21.05
4	Nacimiento 8	Primera Pila	82.00	20.22	51.11
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	40.50	31.30	35.90
6	Nacimiento 10	Los Calambres	26.10	28.60	27.35
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	5.50	33.90	19.70
8	Nacimiento 13	Los Agustines	13.67	24.20	18.94
9	Nacimiento 15	Las Huertas	18.15	18.48	18.32
10	Nacimiento 17	El Barrancón	16.74	40.00	28.37
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	50.50	14.24	32.37
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	9.76	15.46	12.61
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	27.40	39.20	33.30
14	Nacimiento 22	El Maizal	4.84	21.10	12.97
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	13.26	193.40	103.33
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	6.13	21.42	13.78
LMA	500 mg/l		LMP	1000 mg/l	

En la figura 8, se muestran los valores promedio de sólidos disueltos totales de las fuentes de agua muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua tiene valores dentro del límite máximo aceptable.

Figura 8. Promedio de sólidos disueltos totales en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.7 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

La demanda biológica de oxígeno es una prueba usada en la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación de la materia orgánica en el agua. Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

La Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la calidad de agua potable no establece un límite máximo aceptable ni permisible para la demanda biológica de oxígeno, ya que se supone que el agua para consumo humano no debe contener materia orgánica; sin embargo, la Norma Oficial Mexicana de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales –SEMARNAT junto con la Comisión Nacional de Agua

(CONAGUA) han establecido un límite máximo permisible (LMP) de DBO₅ para uso público urbano y protección de vida acuática de 30 mg/l.

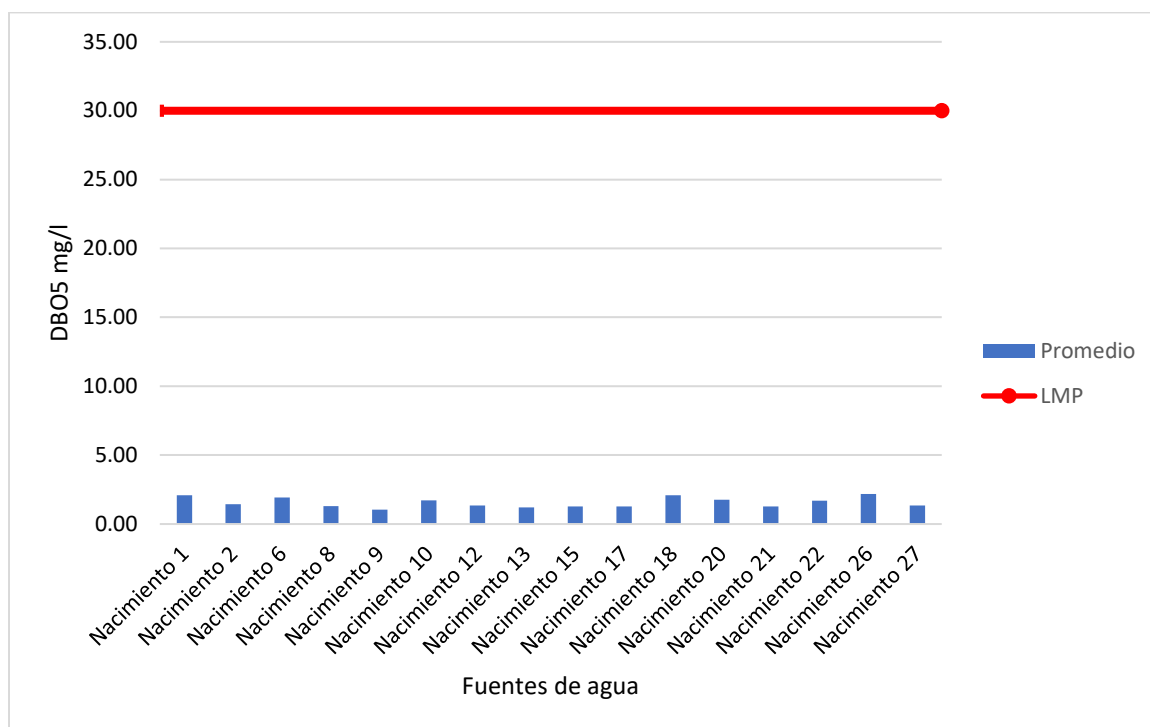
En la tabla 9, se muestran los valores promedios de la Demanda Biológica de Oxígeno obtenidos en los dos monitoreos, los cuales, todos se encuentran por debajo del límite máximo permisible; en el primer monitoreo el valor más bajo se presentó en los nacimientos 12, 21 y 27 con 1mg/l, mientras el valor más alto lo presentó el nacimiento 1 con 2.45mg/l; en el segundo monitoreo el valor más bajo lo presentaron los nacimientos 9 y 13 con 0.96mg/l y el valor más alto lo presentó el nacimiento 26 con 3mg/l. De los valores promedio de los dos monitoreos se determinó que el nacimiento 9 presentó el valor más bajo con 1.03mg/l y el nacimiento 26 presentó el valor más alto con 2.17mg/l.

Tabla 9. Demanda biológica de oxígeno DBO₅ de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente agua	Demanda Biológica de Oxígeno		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	2.45	1.68	2.07
2	Nacimiento 2	Última Pila	1.20	1.68	1.44
3	Nacimiento 6	El Chagüital	2.30	1.56	1.93
4	Nacimiento 8	Primera Pila	1.38	1.20	1.29
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	1.10	0.96	1.03
6	Nacimiento 10	Los Calambres	1.60	1.80	1.70
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	1.00	1.68	1.34
8	Nacimiento 13	Los Agustines	1.43	0.96	1.20
9	Nacimiento 15	Las Huertas	1.45	1.08	1.27
10	Nacimiento 17	El Barrancón	1.33	1.20	1.27
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	2.25	1.92	2.09
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	1.45	2.04	1.75
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	1.00	1.56	1.28
14	Nacimiento 22	El Maizal	1.45	1.92	1.69
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	1.33	3.00	2.17
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	1.00	1.68	1.34
LMA	No se registra		LMP	30 mg/l	

En la figura 9, se muestran los valores promedio de la demanda biológica de oxígeno del agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua están dentro de límite máximo permisible, esto debido a la poca materia orgánica que se encuentra en los cuerpos de agua.

Figura 9. Promedio de demanda biológica de oxígeno en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.8 Porcentaje de Saturación

Se refiere a la cantidad de oxígeno del agua con relación a la cantidad máxima de oxígeno que puede tener a la misma temperatura y presión. En condiciones normales, la cantidad de oxígeno soluble en el agua es fijo y se le denomina saturación, aunque existen factores que hacen que la cantidad de oxígeno disuelto varíe. El valor máximo permisible de oxígeno disuelto en % SAT para el agua es de 80 a 100%.

En la tabla 10 se presentan los resultados del porcentaje de saturación en las fuentes de agua muestreadas en la Montaña El Gigante; en el primer monitoreo, la concentración más baja la presentaron los nacimientos 2 y 8 con 106.20% de saturación y la concentración más alta la presentó el nacimiento 15 con 110.15% de saturación. En el segundo monitoreo, el nacimiento 12 con 104.7% de saturación presentó el valor más bajo, mientras que el nacimiento 9 presentó

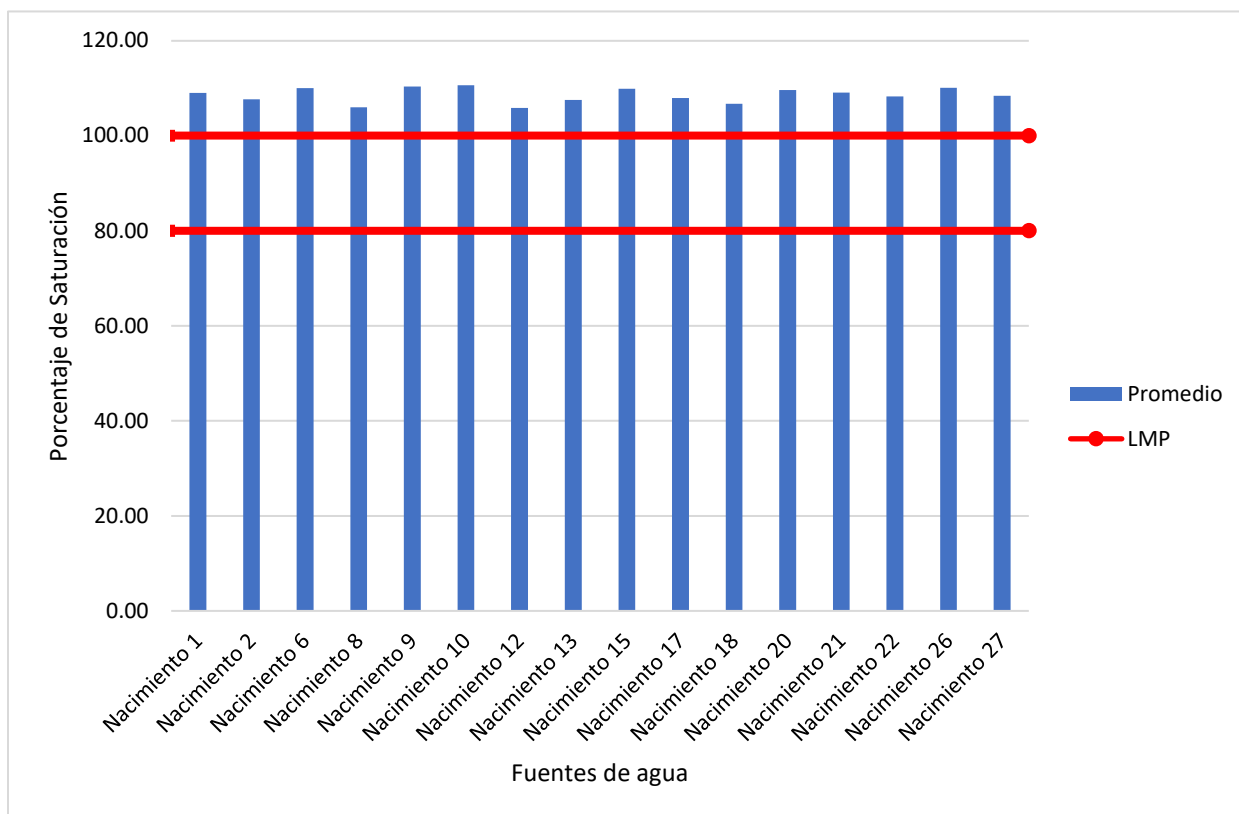
el valor más alto con 113.4% de saturación. En promedio, el nacimiento 12 presentó el valor más bajo con 105.85%, mientras que el valor más alto lo presentó el nacimiento 10 con 110.65%.

Tabla 10. Porcentaje de saturación de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Oxígeno Disuelto % Sat.		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	109.20	108.80	109.00
2	Nacimiento 2	Última Pila	106.20	109.10	107.65
3	Nacimiento 6	El Chagüital	109.30	110.70	110.00
4	Nacimiento 8	Primera Pila	106.20	105.70	105.95
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	107.30	113.40	110.35
6	Nacimiento 10	Los Calambres	110.60	110.70	110.65
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	107.00	104.70	105.85
8	Nacimiento 13	Los Agustines	106.30	108.70	107.50
9	Nacimiento 15	Las Huertas	110.70	109.00	109.85
10	Nacimiento 17	El Barrancón	107.20	108.70	107.95
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	107.50	106.00	106.75
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	109.10	110.10	109.60
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	107.70	110.40	109.05
14	Nacimiento 22	El Maizal	107.10	109.40	108.25
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	110.10	110.10	110.10
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	108.40	108.40	108.40
LMA	No está registrado por la norma		LMP	80 - 100 %	

En la figura 10, se muestran los valores promedio del porcentaje de saturación de oxígeno del agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua superan el límite máximo permisible, esto probablemente se deba a las características fisiográficas, biológicas y topográficas.

Figura 10. Promedio de porcentaje de saturación en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.9 Nitratos (NO_3)

Constituyen la especie nitrogenada más abundante y de mayor interés en todos los cuerpos de aguas naturales. En las aguas naturales suele hallarse en concentraciones traza o de unos pocos partes por millón, mientras que en aguas residuales puede alcanzar niveles muy altos. Los nitratos son nutrientes esenciales para muchos organismos autótrofos fotosintéticos, su presencia en el agua puede ocasionar la eutrofización de los ríos y lagos.

La figura 11 muestra los resultados de nitratos, donde los promedios no superan el límite máximo permisible (10mg/l), a pesar de la posible contaminación por medio de escorrentías o lixiviados. En el primer monitoreo el valor más bajo fue del nacimiento 9 con 0.40mg/l, mientras que el valor más alto fue del nacimiento 6 con un valor de 3.30mg/l. En el segundo monitoreo, el valor más bajo lo presentó el nacimiento 17 con 0.34mg/l y el valor más alto lo presentó el nacimiento 3.35mg/l. Tomando en cuenta el promedio de los dos monitoreos se determinó que los

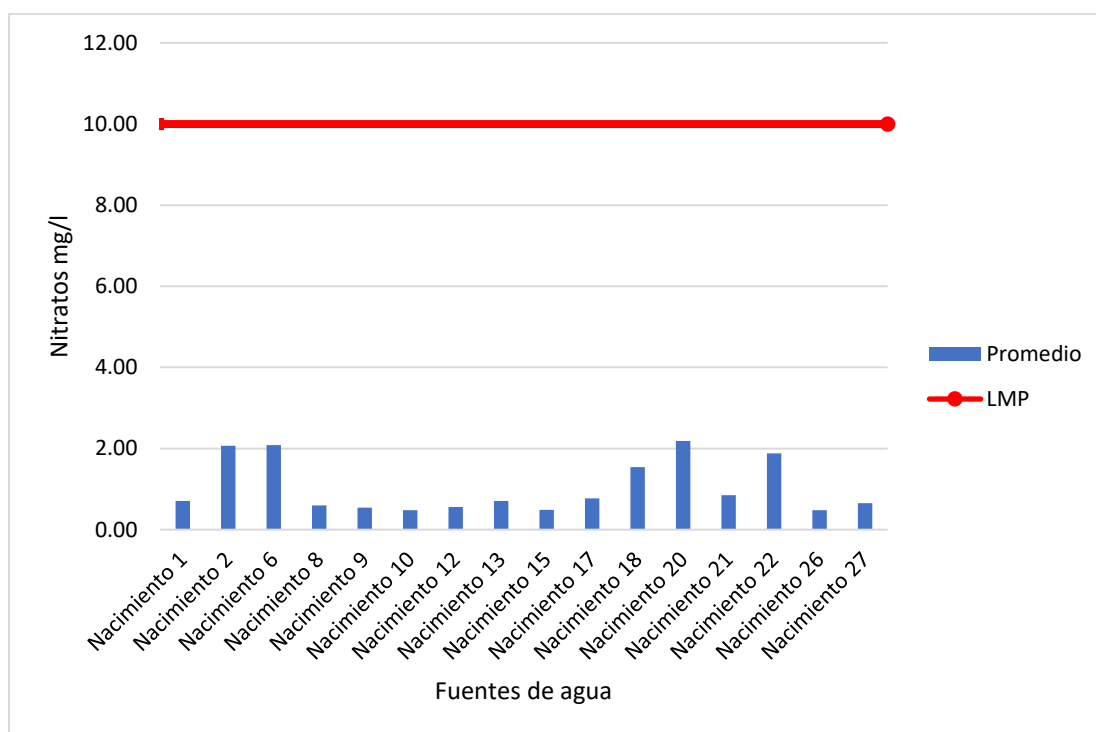
nacimientos 10 y 26 presentaron el valor más bajo con 0.48 mg/l, mientras que el nacimiento 20 presentó el valor más alto con 2.19 mg/l.

Tabla 11. Nitratos NO₃ de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Nitratos		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	0.55	0.87	0.71
2	Nacimiento 2	Última Pila	0.80	3.35	2.07
3	Nacimiento 6	El Chagüital	3.30	0.86	2.08
4	Nacimiento 8	Primera Pila	0.75	0.46	0.60
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	0.40	0.68	0.54
6	Nacimiento 10	Los Calambres	0.50	0.46	0.48
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	0.78	0.35	0.56
8	Nacimiento 13	Los Agustines	1.00	0.41	0.71
9	Nacimiento 15	Las Huertas	0.45	0.53	0.49
10	Nacimiento 17	El Barrancón	1.20	0.34	0.77
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	2.35	0.72	1.54
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	2.50	1.88	2.19
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	0.70	1.01	0.85
14	Nacimiento 22	El Maizal	1.35	2.40	1.88
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	0.45	0.50	0.48
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	0.50	0.81	0.65
LMA	No está establecido por la norma		LMP	10 mg/l	

En la figura 11, se muestran los valores promedio de nitratos del agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua se encuentran debajo del límite máximo permisible.

Figura 11. Promedio de nitratos en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.10 Fosfatos

El fósforo está presente en aguas naturales en forma de fosfatos en pequeñas concentraciones; se encuentran en detergentes, fertilizantes y pueden llegar al agua por escurrimiento agrícola, los desechos industriales y descargas de aguas negras. La concentración de fosfatos en agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización.

La presencia de fósforo y nitratos en el agua causa la “Eutrofización”, que es el enriquecimiento excesivo del agua en determinados nutrientes originando el crecimiento de las algas, el cual, si hay un exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos, que al morir se pudren y contaminan las aguas, disminuyendo su calidad.

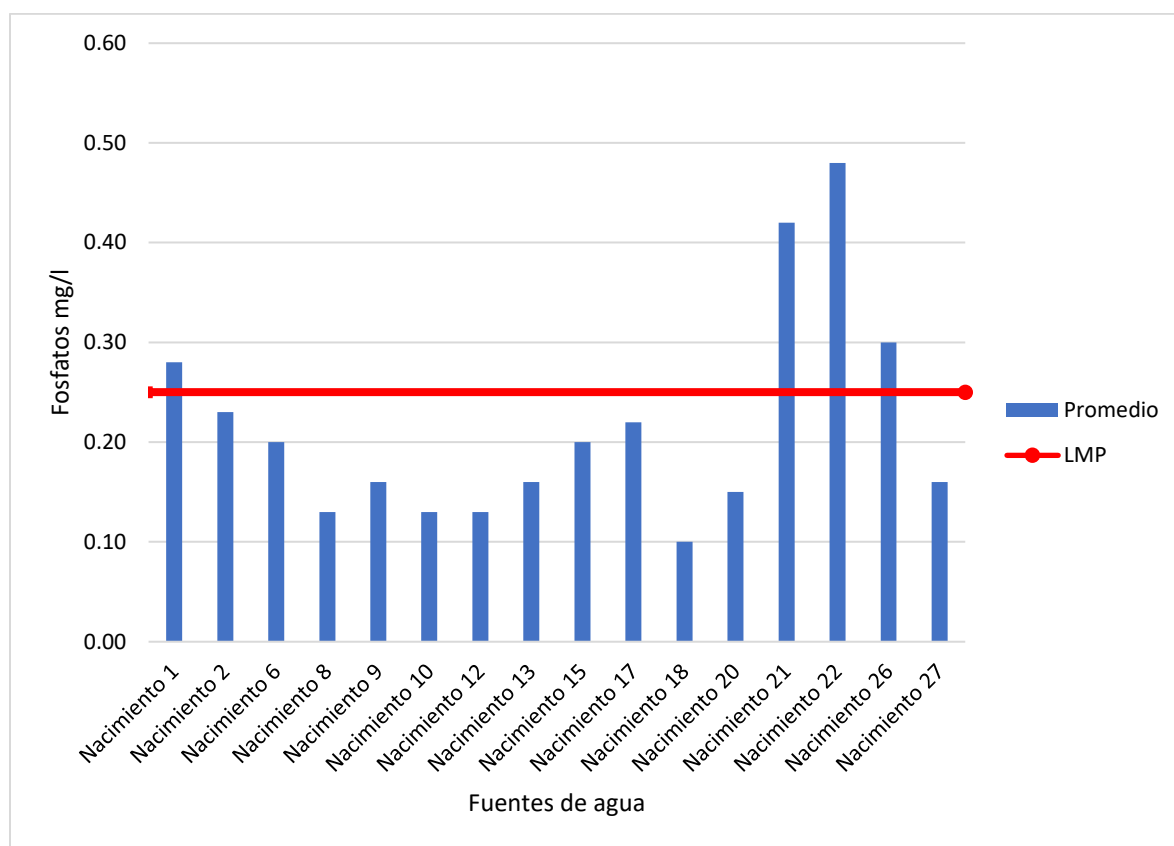
En la tabla 12, se muestran los niveles de fosfatos en el agua de los 16 puntos de control para cada monitoreo en los nacimientos de la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula; donde el punto nacimiento 22 es el que presenta mayor concentración de fosfatos en el agua con un valor de 0.48 mg/l, sobrepasando el límite máximo permisible (0.25mg/l). El punto nacimiento 18 con 0.10 mg/l, presentan menor concentración de fosfatos en el agua y que no sobrepasan el límite máximo permisible.

Tabla 12. Fosfatos de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Fosfatos mg/l		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	0.45	0.12	0.28
2	Nacimiento 2	Última Pila	0.25	0.22	0.23
3	Nacimiento 6	El Chagüital	0.19	0.20	0.20
4	Nacimiento 8	Primera Pila	0.15	0.11	0.13
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	0.14	0.17	0.16
6	Nacimiento 10	Los Calambres	0.16	0.11	0.13
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	0.12	0.13	0.13
8	Nacimiento 13	Los Agustines	0.20	0.13	0.16
9	Nacimiento 15	Las Huertas	0.30	0.11	0.20
10	Nacimiento 17	El Barrancón	0.10	0.34	0.22
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	0.10	0.09	0.10
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	0.20	0.09	0.15
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	0.18	0.67	0.42
14	Nacimiento 22	El Maizal	0.74	0.22	0.48
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	0.10	0.51	0.30
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	0.14	0.18	0.16
LMA	No está establecido por la norma		LMP	0.25 mg/l	

En la figura 12, se muestran los valores promedio de la concentración de fosfatos del agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 25% de las fuentes de agua sobrepasan el límite máximo permisible. La carga alta de fosfatos en algunas fuentes de agua se debe principalmente al uso de productos ricos en fosfatos tales como fertilizantes, jabones y detergentes, que son usados en las pilas comunitarias de las comunidades y de los campos agrícolas ubicados en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula.

Figura 12. Promedio de fosfatos en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.11 Dureza

El término dureza del agua se refiere a la cantidad de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua. Estos minerales tienen su origen en las formaciones rocosas calcáreas y pueden ser encontrados, en mayor o menor grado, en la mayoría de las aguas naturales.

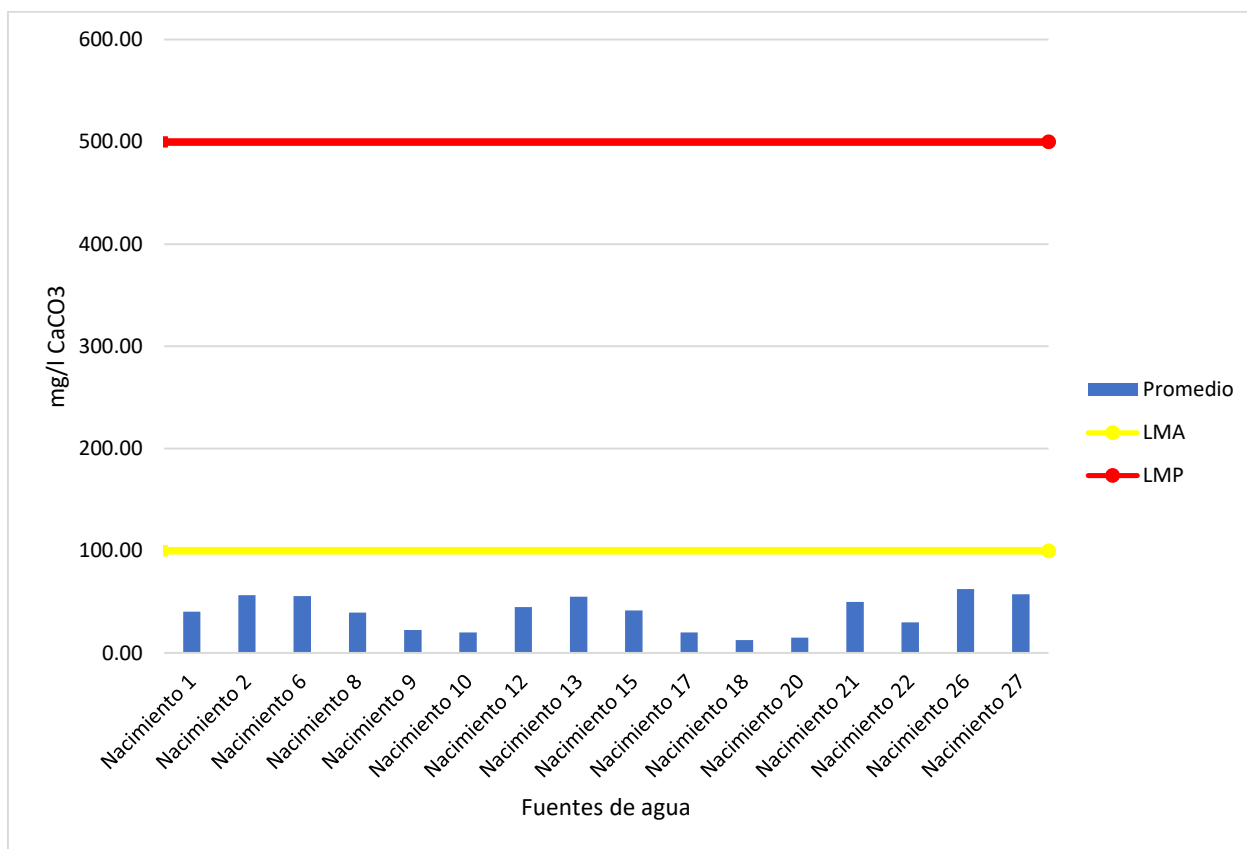
En la tabla 13, se muestra los resultados de los 2 monitoreos tomados en las 16 fuentes de agua de la montaña El Gigante; en el primer monitoreo, el nacimiento 26 presentó el valor más alto con 83 mg/l CaO_3 y los nacimientos 12 y 17 presentaron los valores más bajos con 10 mg/l CaO_3 ; en el segundo monitoreo, el nacimiento 12 presentó el valor más alto con 83 mg/l CaO_3 y los nacimientos 9, 18 y 22 presentaron los valores más bajos con 10 mg/l CaO_3 cada uno. De los valores promedio tomados de los datos de los dos monitoreos se determinó que el nacimiento 18 presenta el promedio más bajo de dureza con 12.5 mg/l CaO_3 y el nacimiento 26 presenta el promedio más alto de dureza con 62.5 mg/l CaO_3 .

Tabla 13. Dureza de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Dureza mg/l CaCO ₃		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	41.00	40.00	40.50
2	Nacimiento 2	Última Pila	43.00	70.00	56.50
3	Nacimiento 6	El Chagüital	66.00	45.00	55.50
4	Nacimiento 8	Primera Pila	49.00	30.00	39.50
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	35.00	10.00	22.50
6	Nacimiento 10	Los Calambres	20.00	20.00	20.00
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	10.00	80.00	45.00
8	Nacimiento 13	Los Agustines	35.00	75.00	55.00
9	Nacimiento 15	Las Huertas	33.00	50.00	41.50
10	Nacimiento 17	El Barrancón	10.00	30.00	20.00
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	15.00	10.00	12.50
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	15.00	15.00	15.00
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	45.00	55.00	50.00
14	Nacimiento 22	El Maizal	50.00	10.00	30.00
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	85.00	40.00	62.50
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	80.00	35.00	57.50
LMA	100 mg/l CaCO ₃		LMP	500 mg/l CaCO ₃	

En la figura 13, se muestran los valores promedio de la dureza del agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua están dentro de los límites máximo aceptable y permisible, esto debido a las características geológicas de la montaña El Gigante.

Figura 13. Promedio de dureza en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.12 Sulfatos (SO₄)

Se encuentra en casi todas las aguas naturales; la mayor parte de los compuestos sulfatados se encuentran a partir de la oxidación de las menas de sulfato, la presencia de esquistos, y la existencia de residuos industriales. El sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia.

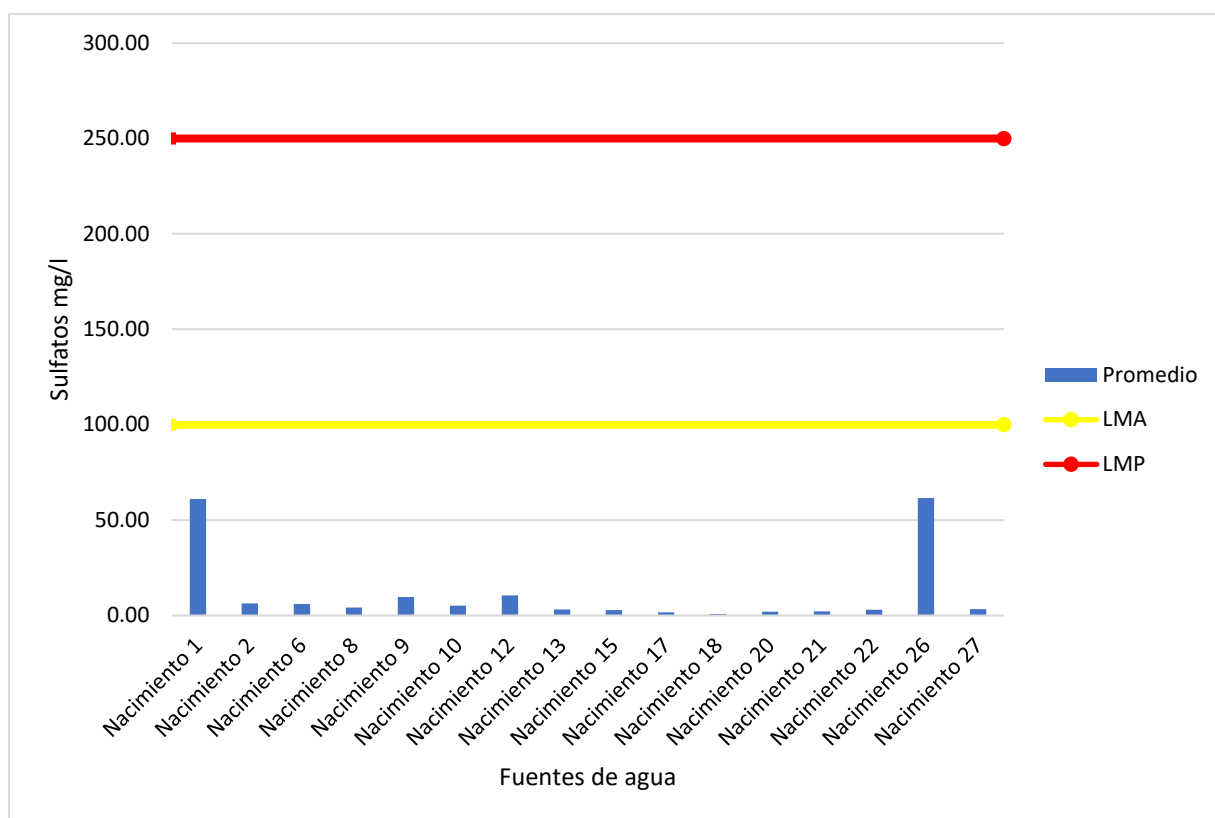
Como se observa en la tabla 14, los valores de sulfatos encontrados en los dos monitoreos no son significativos ya que las concentraciones encontradas de sulfatos en los 16 puntos están por debajo de los valores establecidos por las normas COGUANOR, siendo el límite máximo aceptable de 100 mg/l y el límite máximo permitido de 250 mg/l. En el primer monitoreo los valores oscilan entre 0.90 mg/l y 120 mg/l, mientras que en el segundo monitoreo los valores de sulfatos oscilan entre 0.33 mg/l y 117.67 mg/l. Tomando los promedios de los dos monitoreos, el valor de sulfatos en las fuentes de agua muestreadas oscila entre 0.82 mg/l y 61.58 mg/l.

Tabla 14. Sulfatos de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Sulfatos mg/l		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	120.40	1.87	61.13
2	Nacimiento 2	Última Pila	10.40	2.47	6.43
3	Nacimiento 6	El Chagüital	3.40	8.73	6.07
4	Nacimiento 8	Primera Pila	2.15	6.13	4.14
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	5.27	14.27	9.77
6	Nacimiento 10	Los Calambres	5.73	4.73	5.23
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	16.77	4.20	10.49
8	Nacimiento 13	Los Agustines	4.50	1.93	3.22
9	Nacimiento 15	Las Huertas	3.13	2.60	2.87
10	Nacimiento 17	El Barrancón	1.34	2.13	1.74
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	0.90	0.73	0.82
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	3.60	0.33	1.97
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	2.20	2.33	2.27
14	Nacimiento 22	El Maizal	3.33	2.80	3.07
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	5.50	117.67	61.58
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	2.33	4.33	3.33
LMA	100 mg/l		LMP	250 mg/l	

En la figura 14, se muestran los valores promedio de sulfatos del agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua están dentro de los límites máximo aceptable y permisible.

Figura 14. Promedio de sulfatos en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.13 Nitritos (NO_2)

Son componentes no deseados en la composición de las aguas potables de consumo público. Su presencia puede deberse a una oxidación incompleta del NH_3 o a la reducción NO_3 existentes en el agua. La presencia de nitritos en el agua es indicativa de contaminación de carácter fecal reciente. En aguas superficiales bien oxigenadas el nivel de nitritos no suele superar a 0.1 mg/l, así mismo, cabe resaltar que el nitrito se halla en un estado de oxidación intermedio entre amoníaco y el nitrato.

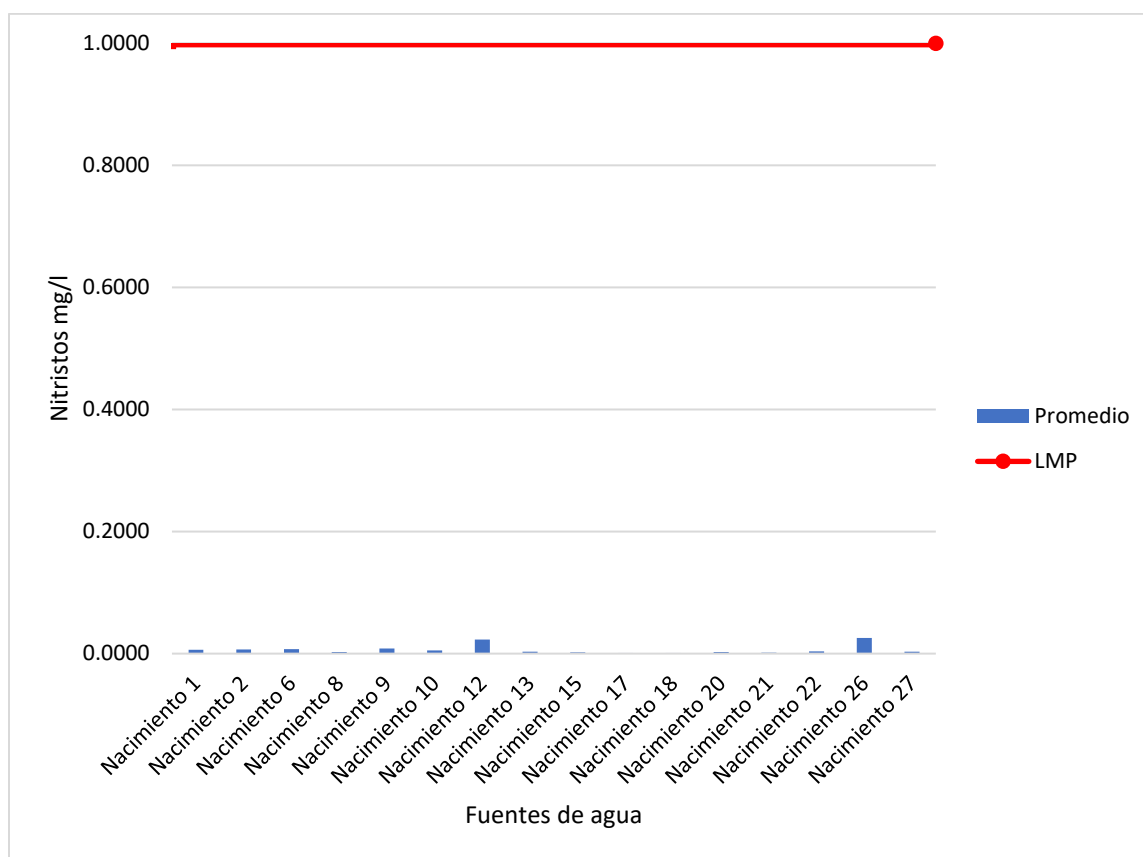
En la tabla 15 se muestran los resultados de los 2 resultados tomados en las 16 fuentes de agua de montaña El Gigante. En el primer monitoreo, el valor más bajo lo presentaron los nacimientos 15, 17, 18, 22 y 27 con 0.0010 mg/l y el valor más alto lo presentó el nacimiento 26 con 0.0330mg/l; en el segundo monitoreo, los nacimientos 13, 17, 18, 20 y 21 con 0.0010 mg/l y el valor más alto lo presentó el nacimiento 12 con 0.0350 mg/l. Tomando en cuenta los valores promedio, se determinó que el nacimiento 17 presentó el valor más bajo con 0.0007 mg/l y el valor más alto lo presentó el nacimiento 26 con 0.0252 mg/l.

Tabla 15. Nitritos NO₂ de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Nitritos mg/l		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	0.0100	0.0020	0.0062
2	Nacimiento 2	Última Pila	0.0100	0.0030	0.0066
3	Nacimiento 6	El Chagüital	0.0030	0.0110	0.0071
4	Nacimiento 8	Primera Pila	0.0020	0.0030	0.0025
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	0.0030	0.0130	0.0079
6	Nacimiento 10	Los Calambres	0.0050	0.0050	0.0048
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	0.0100	0.0350	0.0227
8	Nacimiento 13	Los Agustines	0.0040	0.0010	0.0027
9	Nacimiento 15	Las Huertas	0.0010	0.0030	0.0017
10	Nacimiento 17	El Barrancón	0.0010	0.0010	0.0007
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	0.0010	0.0010	0.0009
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	0.0040	0.0010	0.0026
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	0.0030	0.0010	0.0016
14	Nacimiento 22	El Maizal	0.0010	0.0060	0.0035
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	0.0330	0.0170	0.0252
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	0.0010	0.0040	0.0027
LMA	No está registrado por la norma		LMP	1 mg/l	

En la figura 15, se muestran los valores promedio de nitritos del agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua están dentro del límite máximo permisible.

Figura 15. Promedio de nitritos en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.14 Coliformes fecales

La presencia de bacterias coliformes fecales indica que el agua podría estar contaminada por heces fecales humanas o de animales de sangre caliente, lo cual afecta de forma significativa la calidad del agua. Un alto nivel de bacterias Coliformes fecales, por lo general, indica la presencia en el agua de una gran cantidad de heces y otros materiales orgánicos, sin tratar que pueden tener un serio impacto en el ambiente. La materia orgánica que acoge a la bacteria se descompone aeróbicamente, lo que puede disminuir seriamente los niveles de oxígeno y causar la muerte de peces y otros ejemplares de la vida silvestre que dependen del oxígeno.

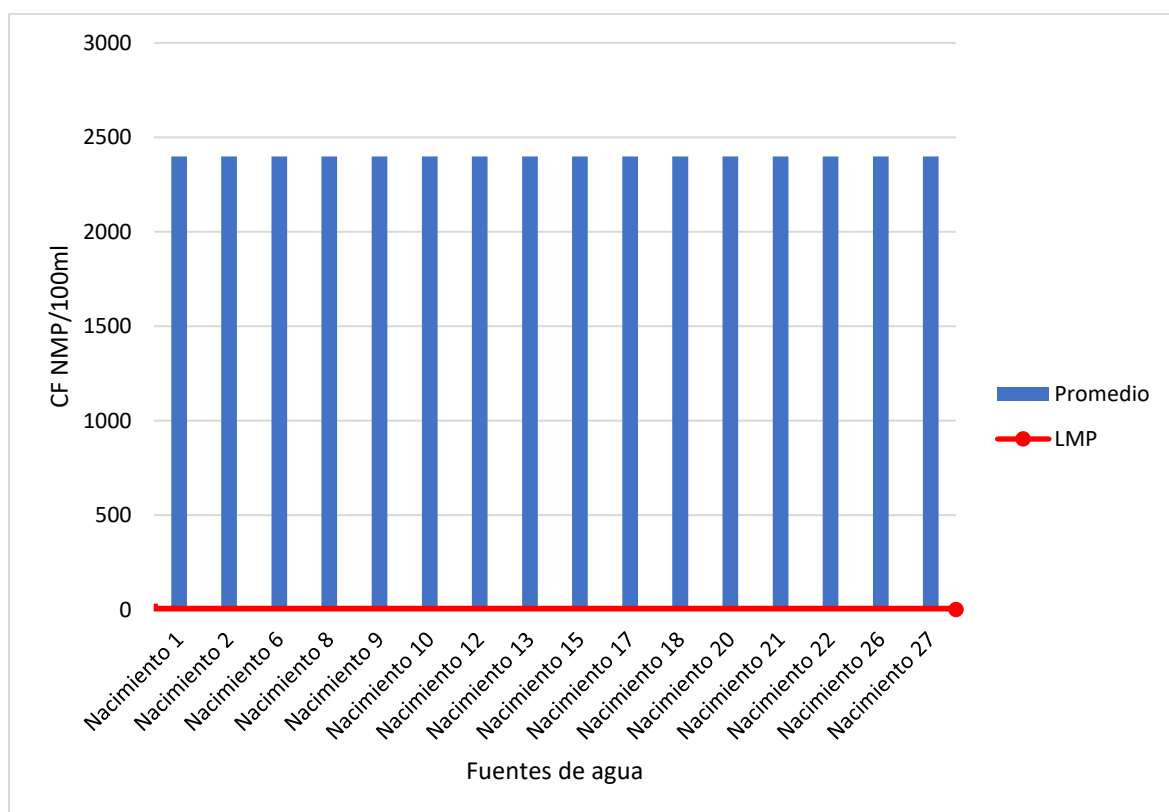
Los resultados presentados en la tabla 16, en todas las fuentes de agua analizadas, existe presencia de Coliformes fecales, con concentraciones mayores a 2,400 NMP/100 ml de agua, estos valores son superiores al LMP establecido en la norma COGUANOR y la OMS para agua apta para el consumo humano (0 LMP).

Tabla 16. Coliformes fecales de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Coliformes Fecales NMP/100ml		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	≥ 2400	≥ 2400	2400
2	Nacimiento 2	Última Pila	≥ 2400	≥ 2400	2400
3	Nacimiento 6	El Chagüital	≥ 2400	≥ 2400	2400
4	Nacimiento 8	Primera Pila	≥ 2400	≥ 2400	2400
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	≥ 2400	≥ 2400	2400
6	Nacimiento 10	Los Calambres	≥ 2400	≥ 2400	2400
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	≥ 2400	≥ 2400	2400
8	Nacimiento 13	Los Agustines	≥ 2400	≥ 2400	2400
9	Nacimiento 15	Las Huertas	≥ 2400	≥ 2400	2400
10	Nacimiento 17	El Barrancón	≥ 2400	≥ 2400	2400
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	≥ 2400	≥ 2400	2400
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	≥ 2400	≥ 2400	2400
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	≥ 2400	≥ 2400	2400
14	Nacimiento 22	El Maizal	≥ 2400	≥ 2400	2400
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	≥ 2400	≥ 2400	2400
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	≥ 2400	≥ 2400	2400
LMA	No está establecido por la norma		LMP	0 NMP/100ml	

En la figura 16 se muestran los valores promedio de la concentración de coliformes fecales en el agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua están fuera del límite máximo permisible; esto debido principalmente a que la mayoría de las viviendas ubicadas en la parte alta de la montaña no cuentan con sistemas de letrinización ni con fosas sépticas.

Figura 16. Promedio de coliformes fecales en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.15 Coliformes totales

Las bacterias conocidas como Coliformes totales viven en el tracto digestivo de un animal o de una persona y en las heces. Aunque a menudo es asociada con *E. coli*, la bacteria Coliformes describe cualquiera de varios microorganismos que están presentes en el medio ambiente, así como las heces de animales de sangre caliente.

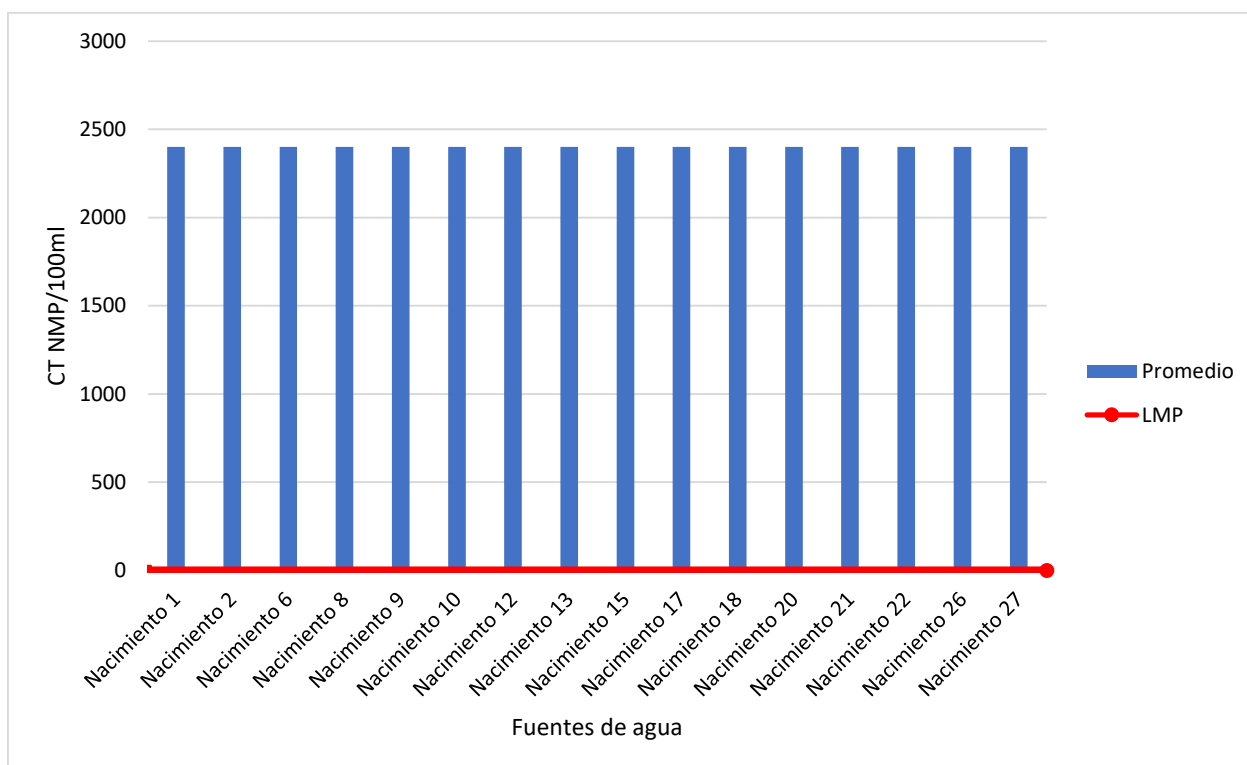
Como se observa en la tabla 17, las concentraciones de coliformes totales sobrepasan el límite máximo permisible, los resultados se muestran muy elevados; tanto en el monitoreo 1 como en el 2, la totalidad de los nacimientos presentan una concentración mayor de 2400 NMP/100ml de coliformes totales.

Tabla 17. Coliformes totales de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Coliformes Totales NMP/100ml		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	≥ 2400	≥ 2400	2400
2	Nacimiento 2	Última Pila	≥ 2400	≥ 2400	2400
3	Nacimiento 6	El Chagüital	≥ 2400	≥ 2400	2400
4	Nacimiento 8	Primera Pila	≥ 2400	≥ 2400	2400
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	≥ 2400	≥ 2400	2400
6	Nacimiento 10	Los Calambres	≥ 2400	≥ 2400	2400
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	≥ 2400	≥ 2400	2400
8	Nacimiento 13	Los Agustines	≥ 2400	≥ 2400	2400
9	Nacimiento 15	Las Huertas	≥ 2400	≥ 2400	2400
10	Nacimiento 17	El Barrancón	≥ 2400	≥ 2400	2400
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	≥ 2400	≥ 2400	2400
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	≥ 2400	≥ 2400	2400
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	≥ 2400	≥ 2400	2400
14	Nacimiento 22	El Maizal	≥ 2400	≥ 2400	2400
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	≥ 2400	≥ 2400	2400
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	≥ 2400	≥ 2400	2400
LMA	No está establecido por la norma		LMP	0 NMP/100ml	

En la figura 17, se muestran los valores promedio de la concentración de coliformes totales del agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua superan límite máximo permisible; esto debido a que no se cuenta con sistemas de letrización en las comunidades ni fosas sépticas.

Figura 17. Promedio de coliformes totales en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.3.16 Escherichia Coli

Escherichia coli indica contaminación fecal en agua, ya que este microorganismo es habitante normal del tracto digestivo de animales de sangre caliente y rara vez se encuentra en agua o suelo que no haya sufrido algún tipo de contaminación fecal, por ello se considera como indicador universal.

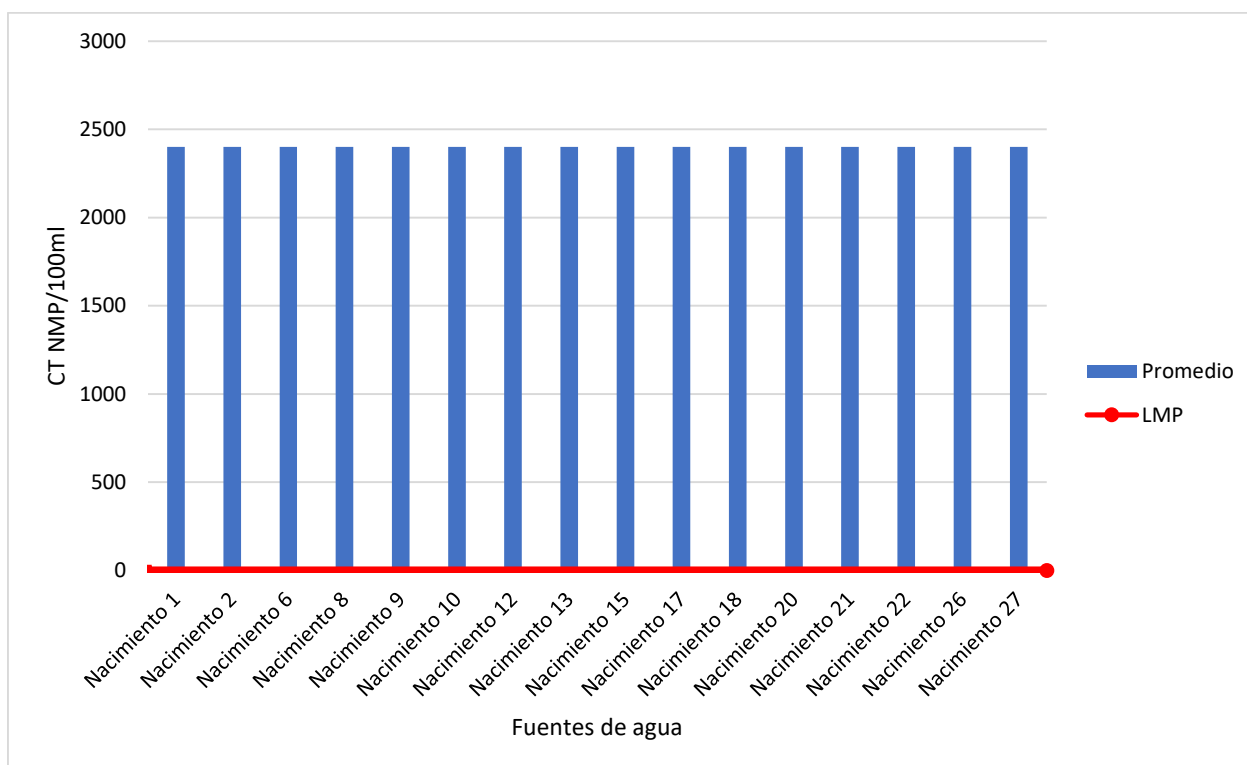
En la tabla 18, se muestra los resultados de los 2 monitoreos realizados en las 16 fuentes de agua de la montaña El Gigante; tanto en el primero como en el segundo monitoreo, la totalidad de fuentes de agua presentaron un valor de E. Coli NMP/100ml mayor de 2400 NMP/100ml.

Tabla 18. Escherichia Coli de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, del municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	E. Coli NMP/100ml		
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)	Promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	≥ 2400	≥ 2400	2400
2	Nacimiento 2	Última Pila	≥ 2400	≥ 2400	2400
3	Nacimiento 6	El Chagüital	≥ 2400	≥ 2400	2400
4	Nacimiento 8	Primera Pila	≥ 2400	≥ 2400	2400
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	≥ 2400	≥ 2400	2400
6	Nacimiento 10	Los Calambres	≥ 2400	≥ 2400	2400
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	≥ 2400	≥ 2400	2400
8	Nacimiento 13	Los Agustines	≥ 2400	≥ 2400	2400
9	Nacimiento 15	Las Huertas	≥ 2400	≥ 2400	2400
10	Nacimiento 17	El Barrancón	≥ 2400	≥ 2400	2400
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	≥ 2400	≥ 2400	2400
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	≥ 2400	≥ 2400	2400
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	≥ 2400	≥ 2400	2400
14	Nacimiento 22	El Maizal	≥ 2400	≥ 2400	2400
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	≥ 2400	≥ 2400	2400
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	≥ 2400	≥ 2400	2400
LMA	No está establecido por la norma		LMP	0 NMP/100ml	

En la figura 18, se muestran los valores promedio de la concentración de Escherichia Coli presente en el agua de las fuentes muestreadas (nacimientos), donde se puede observar que el 100% de las fuentes de agua superan límite máximo permisible, debido principalmente a la falta de letrinas y sistemas de fosas sépticas en las comunidades de la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula.

Figura 18. Promedio de Escherichia Coli en las fuentes de agua de montaña El Gigante



8.4 Calidad del agua de las fuentes de agua en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula

Para determinar la calidad de agua se utilizaron los valores de los dos monitoreos de los 16 parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, turbidez, sólidos disueltos totales, demanda biológica de oxígeno en 5 días, dureza, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, escherichia coli, coliformes fecales y coliformes totales.

El Índice Canadiense de Calidad del Agua obtenido en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula, se obtuvo a partir de los resultados de los dos monitoreos de calidad de agua realizados en las 16 fuentes de agua muestreadas, para los cuales se tomó como referencia el Límite Máximo Permisible -LMP- en cada parámetro, con base a la clasificación según la Metodología Canadiense de Calidad de Agua (CCME_WQI) que se presenta en la tabla 19. Según el Índice Canadiense de Calidad de Agua se clasifican en 5 escalas: excelente, buena, favorable, regular y mala.

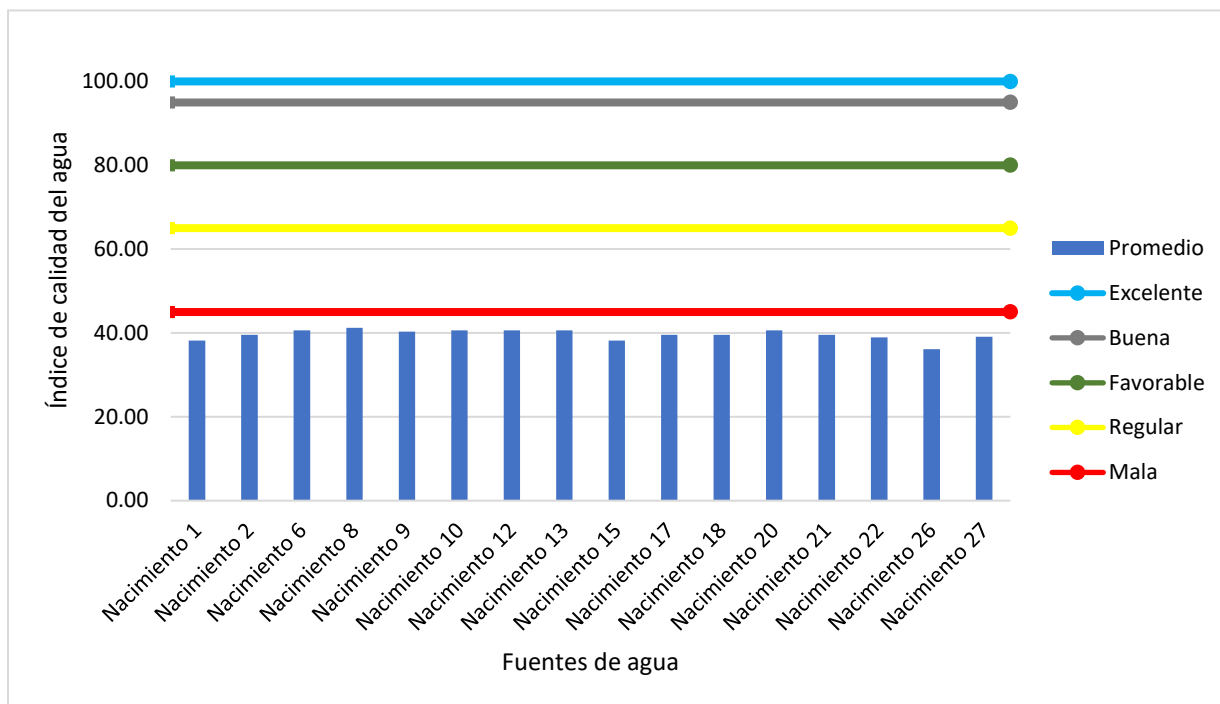
La tabla 19, muestra los resultados del Índice Canadiense de Calidad de Agua para las 16 fuentes de agua objeto de estudio; de acuerdo a los valores del Índice Canadiense de Calidad oscilan entre 36.09 a 41.19, el agua superficial de la montaña El Gigante se clasifica de calidad “Mala”, esto se debe a los niveles de turbidez, sulfatos, fosfatos y la presencia de bacterias coliformes fecales y totales.

Tabla 19. Índice Canadiense de Calidad de Agua y clasificación de la calidad de las fuentes de agua de montaña El Gigante, 2021

No	Fuente de agua (nacimient)	Nombre de la fuente de agua	Promedio CCME_WQI	Clasificación de la calidad del agua promedio
1	Nacimiento 1	Pila grande	38.17	Mala
2	Nacimiento 2	Última Pila	39.52	Mala
3	Nacimiento 6	El Chagüital	40.64	Mala
4	Nacimiento 8	Primera Pila	41.19	Mala
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	40.28	Mala
6	Nacimiento 10	Los Calambres	40.64	Mala
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	40.64	Mala
8	Nacimiento 13	Los Agustines	40.64	Mala
9	Nacimiento 15	Las Huertas	38.17	Mala
10	Nacimiento 17	El Barrancón	39.52	Mala
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	39.52	Mala
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	40.64	Mala
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	39.52	Mala
14	Nacimiento 22	El Maizal	38.91	Mala
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	36.09	Mala
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	39.12	Mala

Los resultados de la figura 19 muestran que ninguna de las fuentes de agua logró obtener un valor promedio más alto del 45% de calidad, por lo que se deduce que la contaminación del agua es homogénea en la montaña El Gigante.

Figura 19. Índice de calidad del agua en los nacimientos de la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula



8.5 Determinación de caudales en las fuentes de agua en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula

Se determinaron los caudales de las dieciséis fuentes de agua muestreadas en la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula; con el fin de conocer el comportamiento de los caudales en época seca y lluviosa. Se utilizó el método volumétrico en las fuentes de agua seleccionadas, el cual es un método sencillo y rápido para estimar el caudal de agua en fuentes de agua con poco caudal.

En la tabla 20, se muestran los caudales obtenidos en la época seca (marzo) y época de lluvia (agosto); es importante mencionar que se tomó como época de lluvia en agosto porque las lluvias en ese año fueron escasas, ya que se presentó una canícula prolongada.

Tabla 20. Caudales de las fuentes de agua de la montaña El Gigante, municipio de Chiquimula

No.	Fuente de agua (nacimiento)	Nombre de la fuente de agua	Caudales lts/s	
			Primer monitoreo (agosto 2020)	Segundo monitoreo (marzo 2021)
1	Nacimiento 1	Pila grande	0.059	0.233
2	Nacimiento 2	Última Pila	0.019	0.062
3	Nacimiento 6	El Chagüital	0.617	0.187
4	Nacimiento 8	Primera Pila	1.053	0.233
5	Nacimiento 9	Ojo de agua Los Calambres	0.051	0.552
6	Nacimiento 10	Los Calambres	0.115	0.223
7	Nacimiento 12	Ojo de agua El Cujal	0.102	0.015
8	Nacimiento 13	Los Agustines	0.066	0.076
9	Nacimiento 15	Las Huertas	0.088	0.276
10	Nacimiento 17	El Barrancón	0.170	0.012
11	Nacimiento 18	Bosque Húmedo parte alta	0.014	0.018
12	Nacimiento 20	Bosque Húmedo parte baja	0.015	0.055
13	Nacimiento 21	Don Rolando Molina Aquino	0.336	0.423
14	Nacimiento 22	El Maizal	0.060	0.504
15	Nacimiento 26	El Mojón Gonzalo García	0.106	0.227
16	Nacimiento 27	Aldea El Limón	0.101	0.080

8.6 Propuesta de lineamientos generales para mejorar la calidad de las fuentes de agua de la montaña El Gigante

A continuación, se presenta una propuesta de lineamientos generales que buscan orientar el desarrollo de estrategias, que permitan la gestión del recurso hídrico, 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) La 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.
- d) Creación de un plan de protección y conservación a nivel cuenca, para fomentar el uso sostenible del agua.
- e) Coordinar, promocionar y orientar acciones de información e investigación enfocadas al recurso hídrico de las fuentes de agua de montaña El Gigante.
- f) Programas de asistencia técnica dirigidos a la población de las comunidades, permitiendo transferir guías y herramientas que sean adecuadas para el aprovechamiento del recurso hídrico.
- g) La identificación de posibles fuentes de financiamiento para impulsar programas y proyectos que contribuyan con la gestión integral del recurso hídrico en la montaña El Gigante.

9. CONCLUSIONES

1. En la montaña El Gigante correspondiente al municipio de Chiquimula, durante el estudio se identificaron 29 fuentes de agua (nacimientos), la mayoría de estos se encuentran ubicados en la aldea El Durazno.
2. El análisis físico-químico realizado al agua de 16 fuentes, permitió establecer que los parámetros conductividad eléctrica, pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, coliformes fecales y coliformes totales presentan niveles que son superiores a los límites máximos aceptables y permisibles.
3. La totalidad de las fuentes de agua analizadas tienen concentraciones de bacterias coliformes fecales y totales con valores promedio de 2,400 NMP/100ml, que superan los valores de referencia.
4. Conforme a lo establecido según el Índice Canadiense de Calidad del Agua (CCME_WQI), se determinó que el agua de los nacimientos analizados tiene calidad de agua clasificada como “Mala”, con un índice que varía de 36.09 a 41.19 por ciento; por tanto, el agua no es apta para consumo humano sin previo tratamiento.
5. Los nacimientos 1 “Pila Grande”, 15 “Las Huertas” y 26 “El Mojón Gonzalo García” son los que poseen el índice de calidad más bajo debido a la ubicación de los mismos, probablemente porque se encuentran en la parte baja de cultivos agrícolas, viviendas o cercanas de pilas comunitarias.
6. Los índices de sulfatos, nitratos, nitritos y fosfatos es probable que se deban a los lixiviados provenientes de los campos agrícolas y de aguas negras provenientes.
7. De los caudales obtenidos en los dos aforos realizados en época seca y época lluviosa, se observó que los resultados se diferencian entre las dos épocas de una manera irregular, debido a la canícula prolongada que ocurrió en la época lluviosa del año 2020.

8. Según los resultados obtenidos en la fase de campo y de laboratorio, se propuso lineamientos generales para la gestión integral del recurso hídrico, con el fin de garantizar la sostenibilidad del recurso en la Montaña El Gigante.

10. RECOMENDACIONES

1. Fomentar la realización de investigaciones que permitan generar conocimiento sobre: tipos de abastecimiento, caudales, usos del agua y volúmenes de consumo en la montaña El Gigante; que permita a las autoridades competentes tomar de decisiones y acciones para la gestión sostenible del recurso hídrico.
2. Realizar monitoreos periódicos de calidad y cantidad de agua en la montaña El Gigante, para facilitar la toma de decisiones a los usuarios y autoridades.
3. Por las altas concentraciones de conductividad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, DBO₅, fosfatos, E. Coli, coliformes fecales y coliformes totales, es necesario aplicar métodos de purificación del agua, si esta se destina para el consumo humano y actividades domésticas.
4. Debido a la alta concentración de coliformes fecales, coliformes totales y Escherichia Coli, es necesario implementar proyectos de letrización en las comunidades de la montaña El Gigante.
5. Realizar estudios dirigidos a determinar la presencia de metales pesados en el agua de las fuentes de la montaña El Gigante como: arsénico, plata, plomo y antimonio, por las características geológicas del suelo.
6. Desarrollar investigaciones que permitan identificar las principales fuentes de contaminación de las fuentes de agua de la montaña El Gigante.
7. Determinar la calidad del agua de la red hidrológica subterránea en la montaña El Gigante, utilizando el Índice Canadiense de Calidad del Agua o el Índice General de Calidad de Agua –ICA-.
8. Desarrollar, en montaña El Gigante, departamento de Zacapa, investigaciones que permitan ampliar la información obtenida en esta investigación.

9. Desarrollar programas y proyectos a nivel municipal y de mancomunidad que permitan el uso y manejo sostenible del recurso hídrico en la montaña El Gigante, a través de la participación de diversos actores y la población.
10. Socializar la investigación con el Área de Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social del departamento de Chiquimula, para que oriente a la población de montaña El Gigante sobre los sistemas de tratamiento más apropiados que se deben implementar.

11. REFERENCIAS

Arrieta Bernate, G. (2008). *Fase I-II, dimensión de aforos: análisis de la producción de residuos sólidos de pequeños y grandes productores, determinación de factores de producción de residuos sólidos de los usuarios residenciales, revisión de la regulación vigente y cálculo de costos asociados a la realización de aforo de residuos sólidos en Colombia*. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico. <https://docplayer.es/24660429-Fase-i-ii-dimension-de-aforos.html>

Calderón Rosel, L. A. 2021. Caracterización de la calidad del agua subterránea en la ciudad de Zacapa, departamento de Zacapa [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Biblioteca Virtual del Centro Universitario de Orientes. https://hksoluciones.sfo2.digitaloceanspaces.com/hksoluciones/tesisusac/libros/19_IGAL_TG-3722-Calder%C3%B3n.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=EDVVKX7GE6M4PQ6FC2BS%2F20221108%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20221108T013505Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=73f894193ec8a0e17a3fa2d804365ce351646e4204273c6efaf7133e09e016a0



Casasola Garza, A. K. (2014). *Línea base de la calidad de las fuentes de agua superficiales en la finca El Cascajal, ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, 2013* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Página virtual del Centro Universitario de Oriente. http://cunori.edu.gt/descargas/Linea_base_de_la_calidad_de_las_fuentes_de_agua_superficiales_en_la_finca_el_cascajal_ubicada_en_el_municipio_de_Esquipulas_departamento_de_Chiquimula_2013.pdf

Centro de Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala. (2006). *Informe técnico de sitio bosque El Gigante, aldea El Durazno, Chiquimula*.
https://res.cloudinary.com/webuvlg/image/upload/v1573145190/WEB/Investigacion/Centros%20de%20investigaci%C3%B3n/Centro%20de%20Estudios%20Ambientales%20y%20Biodiversidad%20CEAB/Publicaciones/Evaluaci%C3%B3n%20de%20ecosistemas%20y%20biodiversidad/Otras%20publicaciones/11.CEAB_2007_informe-bosque-el-gigante.pdf

Chegüen Lémus, S. P. (2016). Diagnóstico ambiental y servicios de gestión ambiental desarrollados en la mancomunidad montaña El Gigante, Chiquimula, Guatemala 2016 [Ejercicio Profesional Supervisado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Página virtual del Centro Universitario de Oriente.
http://cunori.edu.gt/descargas/EPS_Sindy_Cheguen_-_Mancomunidad_Montaa_El_Gigante_Chiquimula.pdf



Concejo Municipal de Chiquimula. (2018). Plan de desarrollo municipal y ordenamiento territorial, municipio de Chiquimula, Chiquimula 2018 – 2032. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia.
https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/08/2001_PDM_OT-Chiquimula.pdf

García Álvarez, J. R. (2009). Contaminación que provocan las aguas servidas sobre la red hidrográfica superficial de la ciudad de Chiquimula [Tesis de maestro, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía]. DocPlayer.
<https://docplayer.es/61266819-Universidad-de-san-carlos-de-guatemala-facultad-de-agronomia-programa-de-estudios-de-postgrado-maestria-en-ciencias-en-gestion-ambiental-local.html>

Girón y Girón, D. E. (2011). 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, 2009 [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Página virtual del Centro Universitario de Oriente. http://cunori.edu.gt/descargas/Girn.D.2009.Evaluacin_Mapeo_AguaSubternea_Chiquimula.pdf

King Calderón, J. N. (2017). Caracterización de la calidad del agua en la red hidrológica superficial de las microcuencas del río San José, Shutaque, Tacó y Shusho en el departamento de Chiquimula 2015 [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Página virtual del Centro Universitario de Oriente. http://cunori.edu.gt/descargas/Caracterizacin_de_la_calidad_del_agua_en_la_red_hidrolgica_superficial_de_las_microcuencas_del_ro_San_Jos_Shutaque_Tac_y_Shushe_en_el_departamento_de_Chiquimula_2015.pdf



Ministerio de Economía. (2017). *Perfil departamental Chiquimula*. Edición del autor. <http://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/chiquimula.pdf>

Mota Barneond, M. A. (2010). *Métodos de aforo* [diapositivas]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. <https://es.scribd.com/doc/97390009/CLASIFICACION-DE-LOS-METODOS-DE-AFORO>

Océane Bindault. (28 de junio de 2016). *¿Qué factores determinan la calidad del agua?* Waterlogic. <https://www.waterlogic.es/blog/que-factores-determinan-la-calidad-del-agua/>

Salazar Chinchilla, W. M. (2016). *Determinación de la calidad del agua en la corriente superficial de la microcuenca del río Grande, ubicada en el municipio Concepción Las Minas, departamento de Chiquimula, 2015* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente]. Página virtual del Centro Universitario de Oriente. http://cunori.edu.gt/descargas/Determinacion_de_la_calidad_del_agua_en_la_corriente_superficial_de_la_microcuenca_del_rio_grande_ubicada_en_el_municipio_de_Concepcion_las_Minas_departamento_de_chiquimula_2015.pdf

Sigler, A. y Bauder, J. (s.f.). *Nitrato y nitrito* (en línea). Northern Plains & Mountains. http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Nitrate%202012-11-15-SP.pdf

United Nations Environment Programme. (2016). A snapshot of the world's water quality: towards a global assessment. Edición del autor. https://wesr.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf



12. APÉNDICES

Apéndice 1. Detalle completo de los resultados obtenidos durante la fase de campo

Parametros	Nacimiento 1		Nacimiento 2		Nacimiento 3		Nacimiento 4	
	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2
pH	7.17	6.98	6.97	6.92	6.76	6.92	6.9	6.66
Temperatura	27.7	22.9	27.5	21.5	27.7	21.1	27	25.2
Conductividad eléctrica	620	40	65.2	74.6	29.2	57	37.2	39.6
Oxígeno Disuelto	7.7	7.68	6.99	7.73	7.18	7.87	7	7.53
% de saturación	109.2	108.8	106.2	109.1	109.3	110.7	106.2	105.7
Turbidez	17.5	2	28.5	2	4.06	10	11.2	11
Sólidos Disueltos Totales	288	20	23.9	37.8	13.09	29	82	20.22
Dureza	41	40	43	70	66	45	49	30
Coliformes fecales	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
E. coli	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Sulfatos	120.40	1.87	10.40	2.47	3.40	8.73	2.15	6.13
Coliformes totales	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Nitratos	0.55	0.87	0.80	3.35	3.30	0.86	0.75	0.46
Nitritos	0.01	0.002	0.01	0.003	0.003	0.011	0.002	0.003
DBO5	2.45	1.68	1.20	1.68	2.30	1.56	1.38	1.20
Fosfatos	0.45	0.12	0.25	0.22	0.19	0.20	0.15	0.11

Nacimiento 5		Nacimiento 6		Nacimiento 7		Nacimiento 8	
Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2
7.07	7.22	6.94	7.15	7.02	6.97	6.98	7.07
26.9	21.3	26.7	24	26.5	22.1	26.6	26.6
18.27	61.6	57.5	56.1	12.28	67.8	30.2	49.1
7.08	8.06	7.32	7.9	7.05	7.39	7.01	7.63
107.3	113.4	110.6	110.7	107	104.7	106.3	108.7
7.39	66	2.26	13	14.9	15	2.25	3
40.5	31.3	26.1	28.6	5.5	33.9	13.67	24.2
35	10	20	20	10	80	35	75
2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
5.27	14.27	5.73	4.73	16.77	4.20	4.50	1.93
2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
0.40	0.68	0.50	0.46	0.78	0.35	1.00	0.41
0.003	0.013	0.005	0.005	0.01	0.035	0.004	0.001
1.10	0.96	1.60	1.80	1.00	1.68	1.43	0.96
0.14	0.17	0.16	0.11	0.12	0.13	0.20	0.13

Nacimiento 9		Nacimiento 10		Nacimiento 11		Nacimiento 12	
Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2
6.94	6.96	6.89	6.94	6.86	7.11	7.03	7.06
26.6	21.6	26.5	22.2	26.5	22.8	26.6	22.22
40	36.7	36.9	80.2	110.3	29.1	21.64	31.2
7.28	7.78	7.05	7.67	7.08	7.46	7.18	7.81
110.7	109	107.2	108.7	107.5	106	109.1	110.1
26.2	9	6.75	4	137	4	1.58	1
18.15	18.48	16.74	40	50.5	14.24	9.76	15.46
33	50	10	30	15	10	15	15
2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
3.13	2.60	1.34	2.13	0.90	0.73	3.60	0.33
2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
0.45	0.53	1.20	0.34	2.35	0.72	2.50	1.88
0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.001
1.45	1.08	1.33	1.20	2.25	1.92	1.45	2.04
0.30	0.11	0.10	0.34	0.10	0.09	0.20	0.09

Nacimiento 13		Nacimiento 14		Nacimiento 15		Nacimiento 16	
Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 1	Monitoreo 2
6.88	6.93	7.19	7.04	6.88	6.87	6.83	7.01
26.5	21.8	26.5	21.6	26.5	21.1	25.1	22.1
60.2	77.8	10.79	41.9	29.2	380	13.52	43
7.07	110.4	7.03	7.79	7.19	7.63	6.99	7.63
107.7	110.4	107.1	109.4	110.1	110.1	108.4	108.4
0.55	1	0.51	433	0.9	416	27.9	240
27.4	39.2	4.84	21.1	13.26	193.4	6.13	21.42
45	55	50	10	85	40	80	35
2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
2.20	2.33	3.33	2.80	5.50	117.67	2.33	4.33
2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
0.70	1.01	1.35	2.40	0.45	0.50	0.50	0.81
0.003	0.001	0.001	0.006	0.033	0.017	0.001	0.004
1.00	1.56	1.45	1.92	1.33	3.00	1.00	1.68
0.18	0.67	0.74	0.22	0.10	0.51	0.14	0.18

Apéndice 2. Detalle completo de los resultados obtenidos en la aplicación de la metodológica canadiense de calidad de agua

F1	31.25		25		18.75		18.75	
F2	25		21.875		18.75		12.5	
Parametros	P1		P2		P3		P4	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
pH								
Temperatura								
Conductividad electrica								
Oxigeno Disuelto								
% de saturación								
Turbidez	0.16666667		0.9					
Solidos Disueltos Total								
Dureza								
Coliformes fecales	799	799	799	799	799	799	799	799
Sulfatos								
Coliformes totales	799	799	799	799	799	799	799	799
E coli	799	799	799	799	799	799	799	799
Nitratos								
Nitritos								
DBO5								
Fosfatos	0.8							
nse	149.8427		149.8406		149.8125		149.8125	
F3	99.3371		99.3370		99.3369		99.3369	
CCME-WQI	38.1667		39.5241		40.6379		41.1889	

18.75		18.75		18.75		18.75	
21.875		18.75		18.75		18.75	
P5		P6		P7		P8	
M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
	3.4						
799	799	799	799	799	799	799	799
799	799	799	799	799	799	799	799
799	799	799	799	799	799	799	799
149.9188		149.8125		149.8125		149.8125	
99.3374		99.3369		99.3369		99.3369	
40.2823		40.6379		40.6379		40.6379	

31.25		25		25		18.75	
25		21.875		21.875		18.75	
P9		P10		P11		P12	
M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
0.74666667				8.13333333			
799	799	799	799	799	799	799	799
799	799	799	799	799	799	799	799
799	799	799	799	799	799	799	799
0.2			0.36				
149.8421		149.8238		150.0667		149.8125	
99.3371		99.3370		99.3380		99.3369	
38.1667		39.5241		39.5235		40.6379	

25		31.25		37.5		25	
21.875		18.75		31.25		25	
P13		P14		P15		P16	
M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
			27.86666667		26.73333333	0.86	15
799	799	799	799	799	799	799	799
799	799	799	799	799	799	799	799
799	799	799	799	799	799	799	799
	1.68	1.96			1.04		
149.8650		150.7446		150.6804		150.3081	
99.3372		99.3410		99.3407		99.3391	
39.5240		38.9060		36.0935		39.1206	

Apéndice 3. Fotografías de las diferentes actividades realizadas durante la investigación.

Fotografía 1. Toma de muestras para análisis físico – químicos. El Chuptal, 2021



Fotografía 2. Realización de aforo por medio del método volumétrico. El Durazno, 2021



Fotografía 3. Toma de muestra para análisis bacteriológico. El Durazno, 2020



Fotografía 4. Toma de coordenadas de fuentes de agua. El Durazno, 2020



Fotografía 5. Fuente de agua en aldea El Durazno 2020



Fotografía 6. Fuente de agua en el sector del bosque nuboso 2020

