



UCI

Universidad para la
Cooperación Internacional

UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL

UCI

EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DEL AGUA DE POZOS
ARTESANALES DOMICILIARES DEL CANTÓN PUCÁ 1, SAN SEBASTIÁN
RETALHULEU, GUATEMALA

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PRESENTADO COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MASTER EN GERENCIA
DE
PROGRAMAS SANITARIOS EN INOCUIDAD DE ALIMENTOS.

EDGAR ROBERTO DEL CID CHACÓN

San José – Costa Rica

Marzo 2023



UCI

Universidad para la
Cooperación Internacional

HOJA DE APROBACIÓN

UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL

UCI

Este Proyecto Final de Graduación Fue Aprobado por La Universidad como
Requisito parcial para optar para el grado de
Master en Gerencia de Programas Sanitarios en Inocuidad de Alimentos

Ing. JAVIER PICADO ELIZONDO. MIA
TUTOR

Dr. Félix Cañet Prades
LECTOR

Edgar Roberto del Cid Chacón
SUSTENTANTE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a **Dios**, que nunca me ha alejado de sus manos

A Mi esposa: que me ha soportado, acompañado y ayudado en el camino que he recorrido, para poder desarrollarlo y culminarlo, y sin ella, definitivamente, no hubiese siquiera empezado.

A mis compañeros de generación MIA26, gracias a todos ellos y para ellos es el logro, especialmente para mis compañeras de grupo Jenny y Cinthia por colaborar en una u otra forma para que este triunfo académico se haya podido desarrollar, alcanzando la meta propuesta hace ya mucho tiempo

RECONOCIMIENTOS

En varias oportunidades pretendí estudiar en una universidad extranjera, luego de varias ocasiones siempre tuve tropiezos, incluso sin poder obtenerlo por diversas razones, luego de muchos intentos lo logré, y para esto han pasado muchos años hasta que lo he podido conseguir.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Félix Cañet Prades, que sin su asesoría y sus constantes motivaciones; este título jamás lo hubiese logrado y cumplir mi meta de ser egresado de una universidad internacional como lo es mi nueva alma mater Universidad de Cooperación Internacional.

Al Maestro Javier Picado Elizondo, joven profesional que me ha demostrado sus capacidades académicas y que sin su tirón inicial y su paciencia a guiado mis pasos en la elaboración y redacción de este trabajo final de graduación.

A todos mis docentes, por su labor incesante, su incansable laboriosidad y su constante guía, este momento hubiese sido imposible a todo punto.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los profesores, compañeros y amigos que, a través del tiempo contribuyeron al cúmulo de conocimientos e interrogantes que hasta el día de hoy siguen llegando y generándose en mí, e incentivando siempre el deseo de aprender más.

Agradezco a mi profesor tutor, Javier Picado, que supo leer y guiar mis ideas.

A mi profesor lector, por su apoyo y recomendaciones en el momento en que se les requirió. A la UCI, a sus docentes, por el acompañamiento durante el desarrollo de todo el proceso de la maestría.

Al Dr. Félix Cañet Prades por ayudarme a lograr a enfocar este maravilloso mundo de la Inocuidad de los alimentos tan necesaria para una buena salud.

Gracias infinitas a todos por colaborar en el logro de este proyecto

A todos aquellos que estuvieron conmigo esta travesía académica para lograr un grado académico a nivel internacional y sobre todo en los momentos en que más los necesité, Que el creador los bendiga.

A la UCI templo del saber y de la ciencia de la inocuidad de los alimentos con enfoque Una Salud, mi nueva Alma mater.

RESUMEN

El agua es un alimento indispensable y esencial para el consumo humano, constituye junto a otros factores uno de los pilares básicos para lograr una buena salud en la población, por ello se debe tener en cuenta la estimación de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de bebida.

El cantón Pucá 1, es una comunidad del municipio de San Sebastián Retalhuleu, Guatemala que carece de los servicios básicos de agua potable, para lo cual se abastece de pozos perforados individuales, pozos que son utilizados para uso personal y uso doméstico en los patios domiciliarios y su saneamiento se efectúa de manera individual.

La presente investigación tuvo como objetivos evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua para consumo humano de pozos artesanales domiciliarios y propuesta de un plan estratégico tendiente a su mejora en el Cantón Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala.

Para llevar a cabo la investigación se utilizó la metodología de APHA y AWWA para medir las concentraciones de nitratos y nitritos, así como también sulfatos y fosfatos. La dureza total del agua se estableció a través de la titulación con Ácido edético (EDTA) para cuantificar sales de calcio, y magnesio para determinar la dureza total del agua de pozos.

En relación con la determinación bacteriológica esta se determinó a través de NMP (número más probable) y el método de Petri film para conteos bajos.

Con base en los resultados obtenidos del agua de los pozos muestreados se comparó con los parámetros establecidos en la Norma COGUANOR NGO 29001, en donde se establecen los límites admisibles y permisibles de la calidad microbiológica y determinar coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* y la físico-química donde se establecieron los siguientes parámetros para determinar turbidez, pH, sólidos disueltos totales, dureza, amoníaco, sulfatos, color, olor, sabor, hierro manganeso, aluminio, nitratos, oxígeno disueltos.

De los datos obtenidos mediante encuestas a los propietarios, se estableció que el 38.09% de los usuarios de agua de pozo artesanal dan mantenimiento anualmente y en relación con el

uso del agua los datos obtenidos fueron que el 49.20% utiliza el agua para consumo diario y el 30.16% también la utiliza para lavado de alimentos y utensilios de cocina, los cuales pueden ser medio de contaminación cruzada del agua. El 85.7% de los pozos muestreados cumplen con los parámetros exigidos por la Norma COGUANOR NGO 29001 y el 14.30 % de los mismos se encuentran contaminados con Coliformes y *Escherichia coli*, siendo de importancia que todas las muestras analizadas se encuentran libres de contaminación por *Pseudomona aeruginosa*.

En relación a los hallazgos físico químicos de los pozos el 100% de los mismos cumplen con los parámetros exigidos en relación a color, olor, turbiedad, conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, calcio, Magnesio y Manganeso total, cloro residual libre, importante es mencionar que la dureza total del agua se considera por debajo de los límites permisibles y admisibles de la Norma COGUANOR 29001.

Lo más relevante del estudio es que la calidad microbiológica y físico química del agua de pozos artesanales del Cantón Pucá, solo el 12.58% se encuentra contaminados con Coliformes totales, 1.7% por *Escherichia coli* y de *Pseudomona aeruginosa* 0%. El crecimiento bacteriano de UFC/100 ml en promedio fue de 43.

Por tal razón se presenta una propuesta estratégica con enfoque Una Salud para mantener la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de pozos a través del año y en coordinación con el Ministerio de salud pública y asistencia social para mantener la cloración de los pozos al menos una vez por semana y chequeos a diario en los pozos identificados con bacterias coliformes y *Escherichia coli*.

PALABRAS CLAVES: CALIDAD DEL AGUA, CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS, CARACTERISTICAS FISICOQUÍMICAS, POZOS ARTESANALES, UNA SALUD, NORMA COGUANOR NGO 29001. LÍMITES PERMISIBLES, LÍMITES ADMISIBLES.

ABSTRACT

Water is an indispensable and essential food for human consumption, it constitutes along with other factors one of the basic pillars to achieve good health in the population, so the estimation of the microbiological and physicochemical quality of drinking water must be taken into account.

The Mariano Gálvez University of Guatemala, carried out an investigation in which they presented the results to the Municipal Council, making known the deficiencies in the distribution and service of piped water in this municipality, indicating that said water is contaminated and it is urgent to implement a project to improve these deficiencies.

The Pucá 1 canton, is a community in the municipality of San Sebastián Retalhuleu, Guatemala that lacks basic drinking water services, for which it is supplied by individual drilled wells, wells that are used for personal use and domestic use in home yards and their sanitation is carried out individually.

The objective of this research was to evaluate the microbiological and physicochemical water for human consumption from artisanal household wells and proposal of a strategic plan aimed at improving it in Canton Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala. To carry out the research, the methodology of APHA and AWWA was used to measure the concentrations of nitrates and nitrites, as well as sulfates and phosphates. Total water hardness was established through edetic acid titration (EDTA) to quantify calcium salts, and magnesium to determine the total hardness of well water.

In relation to bacteriological determination, this was determined through MPN (most probable number) and the Petri film method for low counts.

Based on the results obtained from the water of the sampled wells, it was compared with the parameters established in the COGUANOR NGO 29001 Standard, which establishes the admissible and permissible limits of microbiological quality and determine total coliforms, *Escherichia coli* and *Pseudomona aeruginosa* and physicochemical where the following parameters were established to determine turbidity, pH, total dissolved solids, hardness, ammonia, sulfates, color, odor, taste, iron manganese, aluminum, nitrates, dissolved oxygen.

The wells under study were questioned the maintenance they give to the wells and the use they give to the water obtained. From the data obtained, it was established that 38.09 of the users of artisanal well water provide maintenance annually and in relation to the use of water the data obtained were that 49.20% use water for daily consumption and 30.16% also use it for washing food and kitchen utensils, which can be a means of cross-contamination of water.

In relation to the microbiological study, 85.7% of the sampled wells comply with the parameters required by the COGUANOR NGO 29001 Standard and 14.30% of them are contaminated with Coliforms and *Escherichia coli*, being of importance that all the samples analyzed are free of contamination by *Pseudomonas aeruginosa*.

In relation to the physical-chemical findings, the wells 100% of them comply with the required parameters in relation to color, odor, turbidity, electrical conductivity, pH, total solids, calcium, magnesium and total manganese, free residual chlorine, it is important to mention that the total hardness of the water is considered below the permissible and admissible limits of the COGUANOR 29001 Standard. Sulfates and iron are also below these parameters required by the regulations.

The most relevant of the study is that the microbiological and physical-chemical quality of the water from artisanal wells of the Pucá Canton, only 12.58% is contaminated with total coliforms, 1.7% by *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* 0%. Bacterial growth of CFU/100 ml on average was 43.

For this reason, a strategic proposal with a health approach is presented separately to maintain the bacteriological and physicochemical quality of well water, where emphasis is placed on carrying out studies in the rainy season and coordinating with the Ministry of Public Health and Social Assistance to maintain the chlorination of the wells at least once a week and daily checks in the wells identified with coliform bacteria and *Escherichia coli*.

It is important to mention to understand that in terms of providing quality water and for all municipal authorities they must guarantee the improvement of the infrastructure of the wells in order to guarantee the focus on health. For this reason, a program of surveillance and monitoring of the water quality of the wells of the Pucá Canton, San Sebastián Retalhuleu,

Guatemala, should also be implemented in order to verify if the water is suitable for human consumption.

KEY WORDS: WATER QUALITY, MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS, PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS, ARTISANAL WELLS, ONE HEALTH, STANDARD COGUANOR NGO 29001. PERMISSIBLE LIMITS, PERMISSIBLE LIMITS.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	No.pág.
HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	ii
RECONOCIMIENTOS	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ACRÓNIMOS Y TÉRMINOS ABREVIADOS	xv
DEFINICIONES.....	xvi
Introducción.....	18
Antecedentes.....	19
Problemática	20
Justificación del Proyecto.....	21
Objetivos.....	22
Objetivo General.....	22
Objetivos Específicos	22
MARCO TEÓRICO	23
Localización geográfica del Cantón Pucá I San Sebastián Retalhuleu, Guatemala.	23
Condiciones climáticas del municipio.....	24
Hidrología de San Sebastián.....	25
Escases de agua potable.....	28

Contaminación del agua	30
Causas de la contaminación del agua	31
Calidad del agua y su higienización: efectos sobre la salud.....	32
Principales microorganismos patógenos transmitidos por el agua.....	33
Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que determinan la calidad del agua	34
Características físicas y organolépticas	37
Características químicas del agua.....	38
Aspectos microbiológicos	38
Características Microbiológicas	42
Materiales y Métodos	49
Recursos	49
Metodología.....	49
Resultados y Discusión.....	52
Conclusiones.....	78
Recomendaciones	80
Propuesta Estratégica.....	82
Anexos	87
Referencias	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de San Sebastián, Retalhuleu.....	23
Figura 2. Temperatura promedio por hora en la primavera en San Sebastián	25
Figura 3. Hidrografía del Municipio de San Sebastián, Retalhuleu	28
Figura 4. Distribución porcentual de casas muestreadas.....	52
Figura 5. Tiempo de construcción de los pozos del Cantón Pucá San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala.....	53
Figura 6. Frecuencia de mantenimiento de los pozos del Cantón Pucá San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala.....	54
Figura 7. Uso que se le da al agua de los pozos del Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala.....	55
Figura 8. Resumen de cumplimiento microbiológico del agua de los pozos del Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala	57
Figura 9. Resumen de cumplimiento microbiológico del agua de los pozos del Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala	57
Figura 10. Valores de crecimiento microbiano obtenidas en UFC/100 ml de agua.....	59
Figura 11. Análisis fisicoquímico promedio de Magnesio (ppm) en pozos artesanales en Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu	65
Figura 12. Análisis de manganeso en agua de pozos artesanos o artesanales del Cantón Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu.....	67
Figura 13. Análisis promedio de cloro residual libre (ppm)	68
Figura 14. Análisis de presencia de cloruros (ppm) en agua de pozos de Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu	70
Figura 15. Dureza Total del agua de pozos artesanales del Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu.....	72
Figura 16. Contenido de Sulfatos (ppm) en pozos artesanos o artesanales del Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala	74
Figura 17. Análisis de Hierro (ppm) en agua de pozos artesanos o artesanales del Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano.....	37
Tabla 2. <i>Características químicas que debe tener el agua para consumo humano</i>	38
Tabla 3. Valores límites guía para verificación de la calidad microbiológica del agua	43
Tabla 4. Análisis bacteriológico de las aguas de los pozos en Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala.....	56

ACRÓNIMOS Y TÉRMINOS ABREVIADOS

Símbolo	Significado
cc	Centímetros cúbicos o
CO ₂	Dióxido de carbono
ETRAS	Equipo Técnico Regional de Agua y Saneamiento
GPS	geoposicionamiento global
ICC	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
mg/l	Miligramos por litro
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización Mundial de las Naciones Unidas
OPS	Organización Panamericana de la Salud
pH	Potencial de hidrógeno
μS/cm	Micro Siemens por centímetro

DEFINICIONES

Aguas Subterráneas: Las aguas que se infiltran y penetran en el suelo y subsuelo, saturando los poros o grietas de las rocas y que eventualmente se acumulan encima de capas impermeables formando un reservorio subterráneo.

Calidad del Agua: Es la caracterización física, química y biológica del agua para determinar su composición y utilidad al hombre y demás seres vivos.

Agua potable: Es aquella que, por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la presente norma.

Características físicas y organolépticas del agua:

Son aquellas que se detectan sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio.

Características químicas del agua: son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos orgánicos e inorgánicos.

Características microbiológicas del agua: son aquellas que se originan por presencia de microorganismos que determinan su calidad.

Coliformes Totales: Grupo de bacterias que comprende todos los bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos, no esporulados que producen ácido y gas al fermentar la lactosa.

Cloro residual libre: parámetro que indica la concentración de cloro disuelto y químicamente disponible después de la cloración.

Dureza del agua: Como aguas duras se consideran aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente.

Índice de Langelier: Parámetro utilizado para evaluar la corrosividad del agua NMP/100cc Es el número más probable de microorganismos coliformes que se pueden encontrar estadísticamente en una muestra de agua de 100 cc.

Límite Máximo Aceptable (LMA): es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual estas características son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

Límite Máximo Permisible (LMP): es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.

pH: Logaritmo negativo de base 10 de la concentración acuosa de iones hidrógeno: $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$. Conociendo este parámetro se puede decir si una sustancia es ácida o alcalina.

Programa de análisis mínimo los análisis de agua: Es el programa de análisis del agua que comprende: Análisis microbiológico: coliformes totales y *Escherichia coli*; Análisis fisicoquímico: color, turbiedad, potencial de hidrogeno (pH), conductividad, cloro residual libre, cloruros, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro total y manganeso total.

Programa de análisis complementario: es el programa que comprende la ejecución del análisis mínimo, ampliado con: aluminio, cobre, arsénico, cadmio, cianuro, cromo total, mercurio total, plomo, selenio, cinc, sólidos totales disueltos y sustancias orgánicas (plaguicidas) que afecten la salud del consumidor.

Introducción

Ante la problemática de la obtención de agua potable en las comunidades de San Sebastián Retalhuleu, la perforación de pozos se ha convertido en una importante alternativa en la comunidad para abastecerse de forma sostenible en el uso del agua, debido a la carencia de red de agua potable.

Información respecto a estudios del agua de pozos de esta comunidad son inexistentes y no se conoce si el vital líquido satisface los requerimientos de calidad para uso doméstico y consumo humano.

El crecimiento demográfico y la falta de información de este recurso y su uso en esta comunidad se ve expuesta debido a la existencia de fosas sépticas y ríos que son utilizados por industrias de ajonjolí, y bebidas carbonatadas, las cuales ponen en riesgo su gestión sostenible por contaminación bacteriana y cambios en los aspectos fisicoquímicos. Por eso la interrogante: ¿Qué parámetros de calidad de la norma COGUANOR 29001, posee el agua de consumo de pozos artesanales del Cantón Pucá I, del municipio de San Sebastián Retalhuleu, Guatemala?, supone una difícil tarea que tiene el agua sobre la calidad de vida de los comunitarios y la sostenibilidad en el uso y manejo de los pozos domésticos.

Cabe destacar que el tema de calidad del agua, en el avance de la investigación ha sido significativo, pues a través de las evaluaciones microbiológicas y fisicoquímicas ha sido una tarea onerosa y sobre todo en relación sobre la calidad de vida de la población y la sostenibilidad del uso del agua de consumo proveniente de pozos artesanales.

En virtud de lo anterior, se formuló la presente investigación como tema de trabajo final de graduación, con el fin generar insumos que contribuyan a una gestión sostenible e integral del recurso agua en el Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu Guatemala, los cuales consistieron en la estimación del número y distribución geográfica de pozos del Cantón Pucá, de la calidad del agua y mantenimiento de los mismos; complementariamente, se evaluó la vulnerabilidad a la contaminación de los pozos a través de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos de las aguas subterráneas, a través de un análisis de laboratorio.

Antecedentes

Según la Organización Mundial de la salud [OMS] (s.f.) “El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con transmisión de enfermedades como el cólera, diarreas, y fiebre tifoidea. Si no hay servicios de agua y saneamiento; la población está expuesta a riesgos para su salud”.

El agua es un alimento indispensable y esencial para el consumo humano, constituye junto a otros factores uno de los pilares básicos para lograr una buena salud en la población, por ello se debe de tener en cuenta la estimación de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de bebida.

La universidad Mariano Gálvez de Guatemala, llevo a cabo una investigación de seis meses durante el año 2013, en la que presentaron los resultados ante el Consejo Municipal, dieron a conocer las deficiencias en la distribución y el servicio del agua entubada que hay en este municipio, indicando que dicha agua se encuentra contaminada y es de urgencia implementar un proyecto para mejorar dichas deficiencias.

La falta de drenajes y mal manejo de los desechos sólidos genera la contaminación a las fuentes de agua, con especial énfasis en las áreas rurales. Regularmente las áreas urbanas están provistas de la mayoría de los servicios para el tratamiento de los desechos y se tiene mayor control sobre los impactos ambientales que pueda generar. Se tiene claramente establecidas dos estaciones del año; verano que inicia del mes de noviembre hasta abril, llamada también época seca, e invierno de mayo a octubre llamada época de lluvias. Estas estaciones han sufrido cambios debido a los cambios climáticos, que en su mayoría afecta la cantidad de lluvia que se precipita.

En este sentido, es fundamental conocer la cantidad y calidad del agua disponible para la población y asegurar el cumplimiento regulatorio y normativo de manera que se pueda prevenir impactos sobre la salud, adicionalmente para definir qué estrategia deberán de establecer las autoridades municipales en sentido de ejecutar campañas de saneamiento básico, planes de monitoreo y posterior tratamiento de aguas de pozo.

Problemática

“Aproximadamente 7.600 niños menores de 5 años mueren anualmente por enfermedades diarreicas en la región. Los países, con mayores porcentajes de mortalidad por diarrea son: Haití (23%), Guatemala (10%), Bolivia (7%) y Venezuela (5%).” (OMS, s.f., párr.5)

Las enfermedades causadas por el uso del agua están relacionadas con la presencia de microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua de consumo. Entre ellas se puede citar la malnutrición, las enfermedades desatendidas, la diarrea, las intoxicaciones, entre otras.

El municipio de San Sebastián Retalhuleu Guatemala esta bañado por una serie de ríos que constituyen el caudal hidrográfico específicamente para el cantón Pucá I, de la misma manera representa un alto riesgo para la población, pues es irrigado por el río Ixpatz, que es aprovechado por industrias de bebidas carbonatadas y proceso de ajonjolí como medio de depositar sus aguas residuales y estas son empleadas posteriormente como agua para irrigación de cultivos como chipilín, hierbamora y árboles frutales, lo que implica un riesgo alto para la salud y en relación ambiental como uno de los ríos más contaminados, considerándose como riesgo Ambiental-ecológico debido a la erosión, y deforestación existente, lo cual se ha incrementado en los últimos años. (Torres Juárez, 2018) La Municipalidad suministra el 72% del líquido a la población urbana y 13% en el área rural y el resto de la población se abastece por medio de pozos artesanales, debido a la carencia de agua entubada en el Cantón.

Sin duda el Municipio de San Sebastián Retalhuleu, no posee un sistema de tratamiento de agua adecuado y en época seca este recurso es escaso, y muchas veces utilizada para riego de hortalizas, caso que varía en los poblados cercanos a los ríos en donde aprovechan los caudales para riego de hortalizas como el chipilín y hierba mora, plantas muy utilizadas en la alimentación humana en este municipio.

Ante lo expuesto se plantea la siguiente interrogante: ¿Qué parámetros de calidad de la norma COGUANOR 29001, posee el agua de consumo de pozos artesanales del Cantón Pucá I, del municipio de San Sebastián Retalhuleu, Guatemala?

Justificación del Proyecto

La República de Guatemala como otros países de Centroamérica posee abundantes recursos hídricos por ende posee fuentes de agua subterránea que son aprovechados por los pobladores. Debido a la explosión demográfica existente, los servicios municipales no se dan abasto para surtir de agua potable a las áreas rurales, por lo cual existe una presión sobre los recursos hídricos del subsuelo.

En Guatemala, la provisión de agua potable y su aneamiento se caracterizan por un acceso deficiente y servicios inconsistentes en las áreas rurales, y la provisión de dichos servicios no está controlada ni monitoreada por los organismos responsables.

Al no estar los servicios de agua controlados ni monitoreados, causa desconocimiento en las autoridades municipales y sanitarias sobre la calidad del agua de consumo proveniente de pozos artesanales; por lo que estas fuentes de provisión del vital líquido pueden convertirse en una vía de transmisión de enfermedades gastrointestinales especialmente en niños, así como adultos mayores, mujeres embarazadas y otros grupos en riesgo.

A pesar de contar con unas veinte iniciativas de ley que buscan regular el uso del agua, la situación actual no ha logrado reunir a todos los sectores sociales, económicos y políticos para desarrollar una ley uniforme de aguas. Derivado de lo anterior para el uso del agua se tiene como normativa el Código de salud y la Norma COGUANOR 290001, el cual es el alcance para justificar dicha investigación puesto que en el Municipio de San Sebastián Retalhuleu, actualmente no se aplica la existente para obligar a la gestión de la calidad del agua de pozos artesanales, a pesar que el Código Municipal desde los años ochenta les da la competencia y la obligación de hacerse responsables del servicio de agua potable pero sin un plan integral para su cumplimiento tener un mejor control continuo de la calidad, cantidad y comportamiento del agua.

Finalmente, aunque no menos importante, es indicar que la investigación realizada constituye una oportunidad para los propietarios de los pozos a analizar y conocer las características del agua que han estado consumiendo y utilizando para los quehaceres domésticos y actividades productivas desde hace varios años.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua para consumo humano de pozos artesanales domiciliarios y propuesta de un plan estratégico tendiente a su mejora en el Cantón Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala.

Objetivos Específicos

- Establecer un método de muestreo que permita obtener resultados confiables de la calidad actual del agua de los pozos artesanales domiciliarios.
- Comparar los resultados del análisis del agua de los pozos artesanales domiciliarios del Cantón Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala, para la comprobación del cumplimiento de los parámetros técnicos microbiológicos y fisicoquímicos establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001- 2013.
- Evaluar la concentración de compuestos minerales que hay en los pozos artesanales domiciliarios del Cantón Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala, para la determinación de la posible presencia en particular sales de calcio (Ca) y magnesio (Mg).

MARCO TEÓRICO

Localización geográfica del Cantón Pucá I San Sebastián Retalhuleu, Guatemala.

El municipio de San Sebastián, departamento de Retalhuleu, se encuentra a 180 kilómetros de distancia de la ciudad capital de Guatemala, a 4 kilómetros de la cabecera departamental, tiene una extensión territorial de 28 km², una altura de 311 metros sobre el nivel del mar, su latitud 14° 33'40", longitud: 91° 38'50", su clima es cálido oscila entre una temperatura promedio de 24y 32 grados centígrados, su longitud 91° 38'50", con una precipitación pluvial media anual de entre 2000 y 3500 milímetros/año. Su topografía es generalmente plana ±0.05 de pendiente pues pertenece a la región tropical. (Rodríguez, 2016, párr.1)

El Municipio limita al Norte con: San Felipe y San Martin Zapotitlán; al Sur con: Santa Cruz Muluá y Retalhuleu; al Este: Santa Cruz Muluá y el río Samalá de por medio; al Oeste: Retalhuleu. (Rodríguez, 2016, párr.2)

El área rural se divide en cuatro cantones rurales siendo estos: Samalá y sus sectores I y II; Ocosito y sus sectores Pelicó, Mejía, Ambrosio y Los Vicente; Xulá y Pucá. (Rodríguez, 2016, párr. 5)

En la figura 1 se muestra la localización gráfica del Cantón Pucá I, San Sebastián, Retalhuleu.



Figura 1. *Ubicación geográfica del municipio de San Sebastián, Retalhuleu*

Tomado de: (Google Earth, 2022).

Condiciones climáticas del municipio

El tipo de clima que prevalece en el municipio de San Sebastián Retalhuleu es el cálido húmedo con precipitación anual de 2593 mm. Retalhuleu tiene precipitaciones significativas la mayoría de los meses, con una estación seca corta. Torres Juárez, citando a Köppen y Geiger “La temperatura media anual en Retalhuleu se encuentra a 25.5 °C. En un año, la precipitación es 2593mm”. (pág. 14)

En San Sebastián, la temporada de lluvia es opresiva y nublada, la temporada seca es bochornosa y mayormente despejada y es muy cálido durante todo el año. En el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 19 °C a 32 °C y rara vez baja a menos de 17 °C o sube a más de 34 °C. (Weather Spark, s.f., párr.1)

La temporada calurosa dura 1.8 meses, del 18 de marzo al 11 de mayo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 32 °C. El mes más cálido del año en San Sebastián es abril, con una temperatura máxima promedio de 32 °C y mínima de 22 °C. (Weather Spark, s.f., párr.3)

La temporada fresca dura 4.8 meses, del 7 de septiembre al 31 de enero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 30 °C. El mes más frío del año en San Sebastián es enero, con una temperatura mínima promedio de 19 °C y máxima de 30 °C. (Weather Spark, s.f., párr.4)

Con base en la puntuación de turismo, la mejor época del año para visitar San Sebastián para actividades de tiempo caluroso es desde mediados de diciembre hasta principios de marzo. Ver ejemplo de la figura 2.

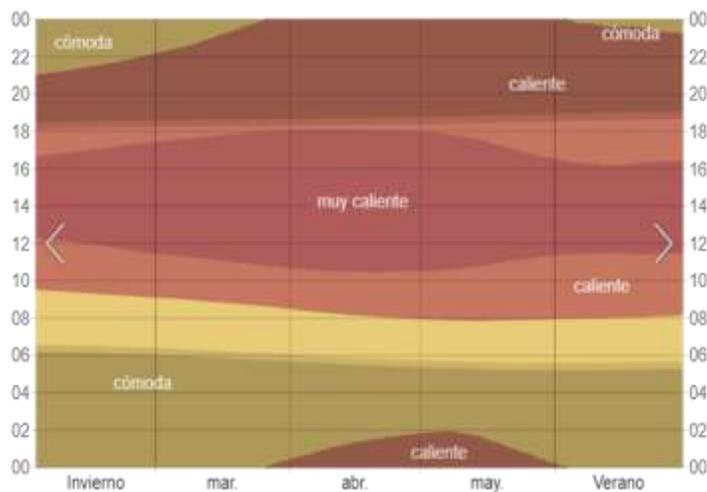


Figura 2. *Temperatura promedio por hora en la primavera en San Sebastián*

Tomado de: (Weather Spark, s.f)

Nubes

En San Sebastián, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año.

La parte más despejada del año en San Sebastián comienza aproximadamente el 17 de noviembre; dura 5.0 meses y se termina aproximadamente el 18 de abril.

El mes más despejado del año en San Sebastián es enero, durante el cual en promedio el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 78 % del tiempo.

La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 18 de abril; dura 7.0 meses y se termina aproximadamente el 17 de noviembre.

El mes más nublado del año en San Sebastián es junio, durante el cual en promedio el cielo está nublado o mayormente nublado el 94 % del tiempo.

Hidrología de San Sebastián

Agua

Torres Juárez (2018) menciona que el crecimiento de la población, su concentración en los centros urbanos, el consumo sin tomar en cuenta las condiciones ambientales y el cambio en

los patrones de producción, inciden en la calidad de los recursos hídricos del mundo. El agua es un sistema hídrico fundamental para la vida, y para el desarrollo de las actividades económicas de toda índole.

La extensión geográfica del Municipio es atravesada por ocho ríos: Samalá, Ixpatz, Pucá o Botas, Tzununá, Ixmay, Mulúa o el Niño, Cachel y Ocosito, que su mayoría presentan contaminación, bien sea por desechos sólidos o desechos humanos, los que se describen a continuación:

Río Samalá

Es una cuenca hidrográfica que nace en los departamentos de Totonicapán y Quetzaltenango, desemboca en el océano Pacífico, su caudal es regular en época seca, sin embargo, en la época lluviosa crece, lo que provoca que su cauce se incremente y sea una amenaza constante para la población del Municipio, cuando sobrepasa su altura crítica inunda cultivos y centros poblados aledaños. Su caudal pasa a la orilla de los cantones Paoj, Parinox, Samalá I en aproximado de 5 km y es el limítrofe entre el municipio de San Sebastián y Santa Cruz Mulúa. En algunos lugares del Municipio sus aguas son utilizadas para riego y abreviar animales. Es aprovechado en su mayoría en la comunidad Samalá I.

Río Ixpatz

Nace en la aldea San Luis, municipio de San Sebastián, atraviesa la Cabecera Municipal de norte a sur, su longitud total es de 35 km., su caudal es regular, sin embargo, cuando hay demasiada lluvia puede salirse de su cauce, atraviesa los caseríos Samalá I, Samalá II y Pucá, los cantones Pajosom e Ixpatz y desemboca en el río Samalá. A este afluente van a dar los desechos sólidos, aguas residuales, basura y soda caustica de agroindustrias localizadas en las cercanías de su cauce. Parte de su caudal es utilizado para riego de cultivos.

Río Pucá

Nace en la aldea San Luis y desemboca en el río Ixpatz, se encuentra a una altitud de 143 msnm., su longitud es de 0.8 km con caudal pequeño que atraviesa la aldea Xulá y cantón Pucá. Está contaminado por aguas residuales y otros desechos, sin embargo, es utilizado para lavar ropa y riego de cultivos.

Río Tzununá

Se origina cerca de la finca San Juan Bautista, municipio de San Felipe y desemboca en el río Ocosito, sus corrientes discurren de noreste a sureste, bordea al oeste de la Cabecera Municipal de San Sebastián por 3.5 km, su altitud es de 106 metros sobre el nivel del mar, de caudal regular y abastece a la represa que distribuye el agua entubada al Municipio, la cual es utilizada por la población para lavar ropa y para higiene, el afluente se ha convertido en su principal uso para el riego en diferentes sitios a lo largo de su recorrido.

Río Ixmay

Nace en la finca Buena Vista de la aldea San Luis, su recorrido es de 5 km y desemboca en el río Ocosito, su caudal es pequeño, atraviesa el caserío Mejía y Pelicó en una distancia de 0.5 km. Se encuentra contaminado por aguas residuales y basura, derivado de esto únicamente se utiliza para riego de cultivos y lavar ropa.

Río Mulúa o el Niño

Nace en la finca San Cayetano y desemboca en el río Samalá, su caudal es pequeño, está a una altitud de 286 metros sobre el nivel del mar, atraviesa 2.8 km en el cantón Samalá II y está contaminado por aguas negras. Sin embargo, los pobladores lo utilizan para lavar ropa, limpiar casas y riego de cultivos.

Río Cachel

Nace en el cantón Samalá I y desemboca en el río Samalá, su caudal es pequeño, atraviesa 1.5 km dentro de los cantones Paoj y Parinox. Los pobladores pueden utilizar su agua solo para lavar ropa y regar plantas, debido a que está contaminado por la basura y aguas negras.

Río Ocosito

Es una cuenca hidrográfica con una longitud de 107 km, nace en la sierra Madre, departamento de Quetzaltenango y desemboca en el océano Pacífico, su caudal es medio, atraviesa 1.6 kms en las aldeas San Luis y Ocosito, sirve de límite entre los municipios de San Sebastián y Nuevo San Carlos. Su caudal se encuentra contaminado por aguas negras, desechos sólidos y basura. Los pobladores lo utilizan para riego de cultivos, lavar ropa y

limpieza de casas La fauna que habita en la mayoría de los ríos son: renacuajos, mojarras, juilines, cangrejos, gusanos, culebras y caracoles. (pp.19-22)

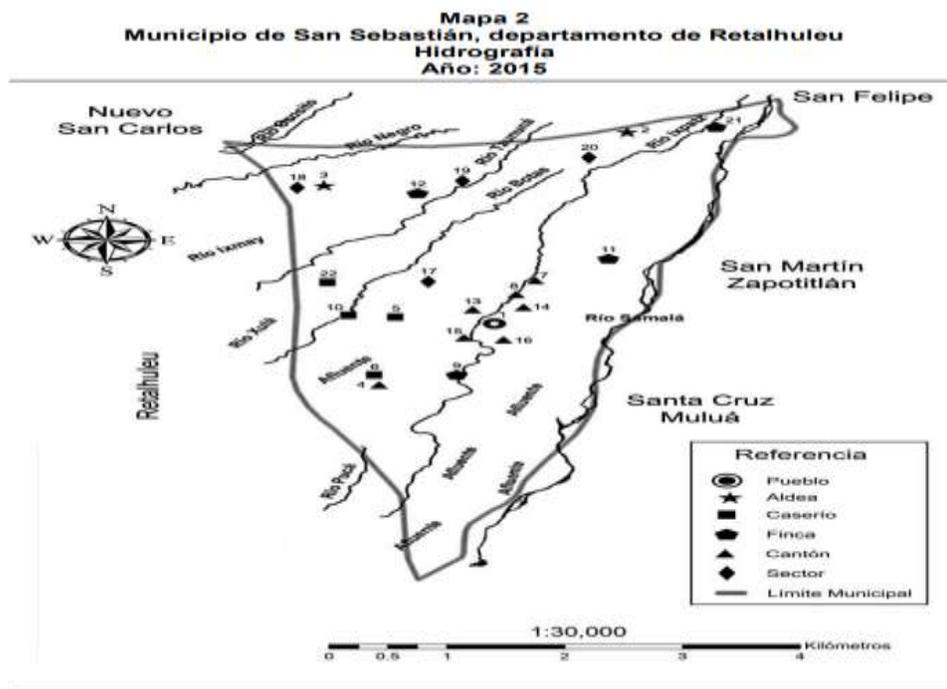


Figura 3. *Hidrografía del Municipio de San Sebastián, Retalhuleu*

Tomado de (Torres Juárez, 2018).

En el mapa de la Figura 3, se muestra la distribución del recurso y como los ríos atraviesan y abastece al Municipio, 4 de los 8 ríos localizados nacen directamente en San Sebastián. Adicionalmente existen 4 riachuelos que son: Xulá, Xocán, Xona y El Chucho. Entre la flora existente en los afluentes están: musgo, espadañas, juncos, apio silvestre y verdín. En los últimos años la contaminación ha aumentado lo que provoca que los afluentes no sean propicios para la explotación pesquera y turística.

Escases de agua potable

El espejismo de la abundancia de agua . Con respecto al stock de agua, se ha repetido incesantemente que el país goza de una abundancia material, que nos sitúa en una especie de paraíso hídrico. Se parte de la idea de que somos excedentarios en agua al relacionar la

disponibilidad física derivada de las lluvias anuales con el número de habitantes del país. En las estimaciones conocidas se presenta un dato nacional que está por arriba de los 5000 metros cúbicos/persona/ año que, obviamente, rebasa los 1700 metros cúbicos/persona/año, valor utilizado como umbral por arriba del cual no existe estrés hídrico. (Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), 2021, p.3)

Esta supuesta suficiencia hídrica encierra varios espejismos, pues la mera existencia material del elemento no significa que se tenga acceso en las cantidades y calidades requeridas. Considérense, al respecto, los siguientes elementos. El holgado resultado de la relación anterior (agua/persona) se basa en el hecho de que llueve suficiente (promedio nacional de 2164 milímetros anuales, con rango entre 635 y 6255, según UIE) durante unos seis meses (normalmente de mayo a octubre) y durante este periodo no solo se puede coleccionar agua para el consumo familiar diario sino que, además, quedará agua almacenada en la capa superior de los suelos (agua verde) para el aprovechamiento vegetal, incluyendo los esenciales cultivos anuales de amplio consumo familiar que podrían garantizar una provisión anual de granos básicos. (Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), 2021, pp.3-4)

Además del “agua verde” (15% del total disponible), la lluvia que precipita también alimenta los acuíferos (18 % del total), las corrientes subsuperficiales (3 % del total) y, en mayor proporción (64 % del total), fluye por la superficie. Mientras alimenta los caudales de los ríos, los lagos y otros humedales, también transporta todo tipo de contaminantes contenidos en los suelos desnudos o habilitados para la producción agropecuaria, donde el uso de fertilizantes y biocidas es costumbre generalizada. (Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), 2021, pp.3-4)

En consecuencia, el agua potencialmente aprovechable (técnicamente la oferta hidrológica anual), es la que queda después de los aguaceros, contenida en ríos, lagos y otros humedales, en los acuíferos subterráneos, en corrientes subsuperficiales (que alimentan, no solo los denominados “nacimientos de agua”, sino también ríos y lagos) o bien, en los embalses. (Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), 2021, pp.3-4)

La mayoría del agua, especialmente la de origen superficial, está contaminada no solo por el transporte de contaminantes ya señalado anteriormente, sino por el incesante vertido de desechos sólidos y líquidos provenientes de las actividades económicas y de los hogares. (Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (IARNA), 2021, pp.4-5)

El Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 reveló que, 3 275 931 hogares del país, el 26.2% no tiene acceso a tubería para abastecerse de agua, los cuales se distribuyen de la siguiente manera: 3.2% chorro público, 12.2% pozo perforado público o privado, 6.1% río, lago o manantial, 1.1% camión o tonel y 3.6% otro. (Instituto Nacional de Estadística Guatemala, 2019, p.67)

El Censo revela que en el departamento de Retalhuleu, con un total de 73 712 hogares, 30 496 su fuente principal de agua para consumo es a través de pozos perforados, 162 con agua de lluvia, 517 de río o lago y 806 manantial o nacimiento. En el caso del municipio de San Sebastián, Retalhuleu, se censaron 6 502 hogares, en donde 4 622 su fuente principal para consumo de agua es por medio de pozos perforados, 5 agua de lluvia, 4 río o lago y 5 de manantial o nacimiento. (Instituto Nacional de Estadística Guatemala, 2019, p. 259)

Contaminación del agua

El planeta nos recuerda continuamente, con sequías cada vez más extremas, que sin agua no hay vida. Este recurso es imprescindible no solo para la supervivencia de los seres vivos que lo habitamos, sino también para el desarrollo socioeconómico, la producción de energía o la adaptación al cambio climático. Sin embargo, en la actualidad, nos enfrentamos a un enorme reto: la contaminación de ríos, mares, océanos, canales, lagos y embalses. (Iberdrola, s.f., párr.1)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define el agua contaminada como aquella que sufre cambios en su composición hasta quedar inservible. Es decir, es agua tóxica que no se puede ni beber ni destinar a actividades esenciales como la agricultura, además de una fuente de insalubridad que provoca más de 500.000 muertes anuales a nivel global por diarrea y transmite enfermedades como el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. (Iberdrola, s.f., párr.3)

Los principales contaminantes del agua incluyen bacterias, virus, parásitos, fertilizantes, pesticidas, fármacos, nitratos, fosfatos, plásticos, desechos fecales y hasta sustancias radiactivas. Estos elementos no siempre tiñen el agua, haciendo que la contaminación hídrica resulte invisible en muchas ocasiones. Por esta razón, se suele recurrir al análisis químico de pequeñas muestras y organismos acuáticos para conocer el estado de la calidad del agua. (Iberdrola, s.f., párr.4)

Causas de la contaminación del agua

Los factores naturales, como la filtración del mercurio presente en la corteza de la Tierra, pueden contaminar los océanos, ríos, lagos, canales y embalses. Sin embargo, lo habitual es que el deterioro del agua proceda de las actividades humanas y sus consecuencias, que detallamos a continuación. (Iberdrola, s.f., párr.5)

Calentamiento global

“El aumento de la temperatura terrestre, a causa de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) calienta el agua y esto hace que disminuya su nivel de oxígeno” (Iberdrola, s.f., párr.6) poniendo en peligro la existencia de la biodiversidad marina, además los recursos de agua dulce están relacionados con la disponibilidad de agua de buena calidad para consumo humano, provocando disminución de mantos freáticos.

Deforestación

La tala de los bosques puede agotar las fuentes hídricas y genera residuos orgánicos que sirven de caldo de cultivo para bacterias contaminantes. (Iberdrola, s.f., párr.7)

Actividades industriales, agrícolas y ganaderas

Los vertidos de productos químicos procedentes de estos sectores son unas de las causas principales de la eutrofización del agua. (Iberdrola, s.f., párr.8)

Basuras y vertidos de aguas fecales

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) asegura que más del 80 % de las aguas residuales del mundo que llegan al mar y a los ríos están sin depurar. (Iberdrola, s.f., párr.9)

Tráfico Marítimo

¿Buena parte de los plásticos que contaminan los océanos proceden de los barcos pesqueros, petroleros y de transporte de mercancías. (Iberdrola, s.f., párr.10)

Calidad del agua y su higienización: efectos sobre la salud

En las últimas décadas ha aumentado la preocupación por la calidad del agua, debido al incremento de enfermedades relacionados con su consumo. Según Organización Panamericana de la Salud (OPS), en América Latina y el Caribe cerca de 38 millones de personas no tienen acceso a fuentes de agua protegidas y las enfermedades de origen hídrico aparecen entre las tres principales causas de mortalidad. Los problemas de salud ambiental en la región se deben tanto a la no atención de las necesidades identificadas en las poblaciones, como al mal uso de las tecnologías tradicionales de saneamiento ambiental. Además, se suman las necesidades crecientes de protección ambiental, causadas por la intensa urbanización en un entorno de desarrollo económico lento, que aumenta la presencia de riesgos a la salud humana y al medio ambiente. (Guzmán Barragán, Días Bevilacqua, & Nava Tovar, 2015, p.962)

Hay 2,4 mil millones de personas -más de un tercio de la población mundial- que no tienen acceso a un saneamiento adecuado. Los resultados son devastadores. Más de 2,2 millones de personas, en su mayoría en los países en vías de desarrollo, mueren cada año por enfermedades asociadas a condiciones deficientes de agua y de saneamiento. 6,000 niños mueren cada día de enfermedades que pueden prevenirse mejorando las condiciones de agua y de saneamiento. Más de 250 millones de personas sufren de dichas enfermedades cada año. El 70% de la superficie mundial está cubierto por agua, pero el 97,5% del agua se encuentra en mares y océanos, es decir, es agua salada. La mayor concentración de agua dulce se encuentra congelada en los casquetes polares (2,0%) y en el agua subterránea almacenada hasta los 1.000 m de profundidad (0,5%) superando el agua fácilmente accesible de lagos y ríos del mundo. (Fernández Cirelli & Du Mortier, 2005, p.17)

Principales microorganismos patógenos transmitidos por el agua.

Apella y Araujo, (2005) menciona:

Las condiciones bacteriológicas del agua son fundamentales desde el punto de vista sanitario. El agua debe estar exenta de patógenos de origen entérico y parasitario intestinal que son los responsables de transmitir enfermedades como salmonelosis, shigelosis, amebiasis, etc.

(Mejorar redacción) Los microorganismos indicadores de contaminación deben cumplir los siguientes requisitos: fáciles de aislar y crecer en el laboratorio; ser inocuos para el hombre y animales; y presencia en agua relacionada, cuali y cuantitativamente con la de otros microorganismos patógenos de aislamiento más difícil. Tres tipos de bacterias califican a tal fin:

- Coliformes fecales: indican contaminación fecal.
- Aerobias mesófilas: determinan efectividad del tratamiento de aguas.
- Pseudomonas: señalan deterioro en la calidad del agua o una recontaminación.

Desde el punto de vista bacteriológico, para definir la potabilidad del agua, es preciso investigar bacterias aerobias mesófilas y, coliformes totales y fecales.

La gran sensibilidad de las bacterias aerobias mesófilas a los agentes de cloración, las ubica como indicadores de la eficacia del tratamiento de potabilización del agua.

Esto ha llevado a distinguir entre coliformes totales (grupo que incluye a todos los coliformes de cualquier origen) y coliformes fecales (término que designa a los coliformes de origen exclusivamente intestinal) con capacidad de fermentar lactosa a 44,5°C. La existencia de una contaminación microbiológica de origen fecal se restringe a la presencia de coliformes fecales, mientras que la presencia de coliformes totales que desarrollan a 35°C, sólo indica existencia de contaminación, sin asegurar su origen

Los enterococos fecales cuyo desarrollo ocurre a 35°C se usan como indicadores complementarios de contaminación fecal. La validez de todo examen bacteriológico se apoya en una apropiada toma de muestra (recipiente estéril de boca ancha y metodología precisa),

y en las adecuadas condiciones de transporte desde el lugar de la fuente de agua hacia el laboratorio (refrigeración, tiempo). (Apella y Araujo, 2005, p.48)

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que determinan la calidad del agua

Barrenechea Martel (2013) define que:

la contaminación de los recursos hídricos es un problema cada vez mayor, debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el agua, es indispensable conocer las características fisicoquímicas del agua antes de seleccionarla como fuente de abastecimiento de la explotación.

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua -que pueden ser de origen natural o antropogénico- define su composición física y química... Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos, tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Se considera dentro de estas indicativas la turbidez, el olor, color y el pH. (Barrenechea Martel ,2013, pp.4-5)

- Turbidez

La turbidez se origina por las partículas en suspensión o coloides -arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera- que reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. Aunque no se conocen los efectos directos de la turbidez, ésta afecta al proceso de eliminación de los organismos patógenos por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbidez reducen la eficiencia del proceso y protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Al igual, interfiere en los procesos de administración de tratamientos medicamentosos a través del agua de bebida. (Barrenechea Martel ,2013, pp.5-6)

- Color

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbidez o presentarse independientemente de ella. El color puede orientarnos acerca del tipo de contaminación, así sí el agua tiene un color café amarillento o pardo será causado por sustancias húmicas, hojas, ácidos tánicos, sí el color es verde por fitoplancton y/o clorofíceas, sí es rojizo o pardo por sales de hierro y sí

es amarillento por macizos no calcáreos. Debido a que el color del agua se origina, en muchos casos, por la presencia de compuestos de naturaleza orgánica, se recomienda que la desinfección se realice luego de que éste haya sido removido, para evitar que la aplicación de cloro como desinfectante pueda dar origen a la formación de trihalometanos, compuestos que tienen efecto cancerígeno en animales. (Barrenechea Martel ,2013, pp.9-10)

- Olor y sabor

El olor y el sabor están estrechamente relacionados; por eso es común decir que "A lo que huele, sabe el agua"... En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua... .En algunos casos, la eliminación de los olores puede realizarse mediante la aireación o la adición de carbón activado.

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en el sistema de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. (Barrenechea Martel ,2013, págs.10,12,13)

- Cloruros

Los límites fijados para los cloruros en el agua por las normas de calidad se sustentan más en el gusto que le imparten al agua que en motivos de salubridad. Tomando en cuenta el límite de percepción del sabor de los cloruros en el agua, se ha establecido un límite de 250 mg/l en aguas de consumo, por encima de esta concentración, los cloruros pueden influir en la corrosividad del agua. (Barrenechea Martel ,2013, p.26)

- Cobre

Con frecuencia se encuentra en forma natural en las aguas superficiales, pero en concentraciones menores a 1 mg/l. En estas concentraciones, el cobre no tiene efectos nocivos para la salud. Se trata de un elemento benéfico para el metabolismo, esencial para la formación de la hemoglobina. En concentraciones altas, el cobre puede favorecer la corrosión del aluminio y el cinc y cambiar el sabor del agua. Se puede emplear sulfato de

cobre en dosis controladas como tratamiento alguicida, en el caso de sobredosis pueden aparecer lesiones hepáticas y renales en animales jóvenes. (Barrenechea Martel ,2013, pp.26-27)

- Hierro

La presencia de hierro puede afectar al sabor del agua, producir manchas indelebles. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbidez y el color del agua. En solución contribuye al desarrollo de microorganismos que pueden formar depósitos molestos de óxido férrico en la red de distribución. Puede interferir en la disolución de medicaciones. El tratamiento para su eliminación es relativamente sencillo mediante oxidación, precipitación y filtración. (Barrenechea Martel ,2013, pp.33-34)

- Nitratos y nitritos

El nitrógeno en el agua se puede encontrar formando amoníaco, nitratos y nitritos. El ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que sólo se encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. Esta es la causa de que los nitritos se transformen rápidamente para dar nitratos y que, generalmente, estos últimos predominen en las aguas, tanto superficiales como subterráneas. El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, incluyendo el amoníaco, y la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en agua. Después de la absorción, tanto nitratos como nitritos se distribuyen con rapidez a todos los tejidos. El tratamiento más eficiente para la remoción de los nitratos es el de resinas de intercambio iónico. En la práctica, difícilmente los nitritos se encuentran en aguas tratadas debido a que se oxidan fácilmente y se convierten en nitratos durante la cloración (Barrenechea Martel ,2013, pp.39-41)

- Conductividad

La conductividad es una medida de la resistencia que opone el agua al paso de la corriente eléctrica. Es un parámetro indicador de la concentración de los iones en disolución y una conductividad elevada se traduce en una salinidad elevada o en valores anómalos del pH. La

conductividad está íntimamente relacionada con la cantidad total de sólidos disueltos (TSD), la cual es calculada por medio de la ecuación:

$$\text{TSD g/l} = 0,86.103 \times \text{Conductividad específica (ohm-1. cm-1)}$$

(Barrenechea Martel ,2013, p.43)

Características físicas y organolépticas

En la tabla 1 se muestran los Límites Máximos Aceptables (LMA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), y se explica lo siguiente: (a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto; (b) Unidades Nefelométricas de Tubería; (c) En unidades de pH; (d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C.

Tabla 1. *Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano*

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u ^(a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT ^(b)
Conductividad eléctrica	750 $\mu\text{S/cm}$	1500 $\mu\text{S/cm}$ ^(d)
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 ^{(c)(d)}
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

Fuente. (Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001, s.f.)

Características químicas del agua

Como se establece en COGUANOR NTG 29001, las características del agua mínimas requeridas para el consumo humano se detallan en la tabla 2. (completar las unidades en las que se miden los indicadores).

Tabla 2. *Características químicas que debe tener el agua para consumo humano*

Características	LMA	LMP
Cloro residual libre^(a)	0,5	1,0
Cloruro (Cl-)	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO₄⁻⁻)	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0
Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe)^(b)	0,3	----

Tomado de (Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001, s.f.)

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

Aspectos microbiológicos

La contaminación microbiológica se asocia habitualmente con efectos patógenos agudos, más inmediatos que los provocados por la contaminación química, por lo tanto, se debe

conocer los elementos útiles para conocer la existencia de contaminación en el agua de bebida. (Bellostas, 2009, p.26)

La gran mayoría de microorganismos vehiculados en el agua, son gérmenes eliminados a partir del tracto intestinal del hombre y de animales vertebrados, por tanto, su aparición habrá supuesto un anterior contacto de excretas humanas y animales con el agua, lo que generalmente se denomina contaminación fecal. (Bellostas, 2009, p.26)

Para conocer la existencia de un posible contacto del agua de bebida con excretas humanas y/o animales, es necesario determinar la presencia de ciertos grupos de gérmenes eliminados de forma inequívoca en esas excretas. La aparición de estos microorganismos se considera como un indicador de la mala calidad del agua, y pueden agruparse bajo el nombre de microorganismos indicadores de contaminación fecal. (Bellostas, 2009, p.26)

Para poder evidenciar una contaminación fecal se deben determinar una serie de microorganismos que poseen unas características comunes y necesarias que los califican como "Testigos de contaminación fecal", las características exigidas a un microorganismo indicador son: (Bellostas, 2009, p.30)

Especificidad: Se eliminarán de forma constante y casi exclusiva en las materias fecales procedentes del hombre y animales.

Abundancia: Al contactar las materias fecales con el agua su contenido bacteriano será diluido, por ello el número de este microorganismo en las heces debe ser elevado.

Resistencia en el medio: Será similar o superior a la de los gérmenes patógenos transmisibles por vía hídrica, de nada sirve que estos microorganismos hayan desaparecido del agua si los realmente dañinos permanecen todavía en ella. (Bellostas, 2009, p.30)

Dentro de los microorganismos que la vigente reglamentación preconiza sólo los Coliformes fecales, *Streptococos* y *Clostridium* pueden considerarse como exponentes de los gérmenes que hemos dado en denominar "Microorganismos indicadores", aunque la investigación del resto también proporciona valiosa información al respecto de la calidad microbiológica del agua. (Bellostas, 2009, p.30)

Coliformes.

Los métodos oficiales para el análisis de las aguas potables incluyen en este grupo a los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, también puede incluirse el género *Serratia*, todos estos géneros se agrupan en la familia *Enterobacteriaceae*. (Bellostas, 2009, p.31)

La legislación vigente diferencia entre contajes relativos de coliformes totales y coliformes fecales, los primeros se asimilan al término genérico de coliformes, definido con anterioridad, los segundos, sin embargo, pueden considerarse como un subgrupo incluido entre los coliformes totales y son testigos más directos de una contaminación fecal. Este subgrupo está representado, principalmente, por *Escherichia coli*. (Bellostas, 2009, p.31)

La diferencia establecida entre coliformes fecales y totales se debe a la existencia de ciertos coliformes, cuyo hábitat natural no es el tubo digestivo de los vertebrados, sino que se encuentran ampliamente distribuidos en el agua, suelo, vegetales... por ello su determinación no implicará forzosamente una contaminación fecal. (Bellostas, 2009, p.31)

La resistencia a los agentes desinfectantes es similar a la de las bacterias patógenas, por ello, su investigación y recuento es de capital importancia al evaluar la eficacia de un tratamiento desinfectante. (Bellostas, 2009, p.31)

El hecho de que los coliformes fecales y más concretamente *Escherichia coli*, se encuentran en mayor proporción en heces humanas que otros gérmenes fecales (4 veces más que *Enterococos*), lo convierten, en un indicador casi exclusivo de contaminación fecal humana. (Bellostas, 2009, p.31)

La presencia de coliformes fecales en aguas de bebida es inadmisibles pues las convertirá en potencialmente peligrosas, debido a la posible aparición de gérmenes como *Salmonella* y *Shigella*. (Bellostas, 2009, p.31)

Enterococos.

Su presencia está íntimamente ligada a la eliminación de productos fecales procedentes de animales de sangre caliente. El carácter indicativo de estos microorganismos de contaminación fecal puede resumirse en los siguientes puntos: (Bellostas, 2009, p.31)

- No aparecen en aguas como constituyente de la flora saprofita.
- Sobreviven fuera del tracto gastrointestinal mejor que los coliformes, además sus requerimientos nutritivos complejos les impiden reproducirse en el agua. Esta persistencia se ve modificada según las condiciones de temperatura, naturaleza del suelo, agua y salinidad.
- Resisten mejor que los coliformes la acción desinfectante del cloro.

La aparición junto a coliformes fecales indicará con certeza el origen humano de la contaminación (Bellostas, 2009, p.31).

Su presencia aislada, en ausencia de coliformes fecales puede hacer pensar en una contaminación tardía por heces humanas o bien en la presencia de una contaminación fecal animal. Su detección en aguas tratadas es inadmisibile. (Bellostas, 2009, p.31)

La determinación exclusiva de gérmenes indicadores de contaminación fecal no es siempre suficiente a la hora de establecer la inocuidad o idoneidad de un agua. La existencia de una amplia gama de microorganismos capaces, por su actividad, de dar lugar a alteraciones organolépticas o simplemente actuar como agentes causales de determinadas patologías obliga, circunstancialmente, a ser tenidos en cuenta antes de efectuar la calificación de un agua. Como pueden ser *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Shigella* y *Estafilococos*. (Bellostas, 2009, p.32)

Otros microorganismos que conducen a una serie de problemas relacionados con las operaciones de tratamiento del agua y alteraciones en sus caracteres organolépticos - variaciones de color, olor, sabor y turbidez-, son las algas. Elevadas cantidades de algas dan lugar a taponamientos en filtros, algunas algas liberan toxinas al medio -cianotoxinas-, difíciles de eliminar ya que pueden persistir después de tratamientos como coagulación, filtración y desinfección. (Bellostas, 2009, p.32)

La transmisión de enfermedades virales a través del agua es un hecho constatado en aguas residuales, pueden aparecer en aguas profundas supuestamente libres de contaminación microbiana y que teóricamente son consideradas aptas para el consumo. Son de difícil investigación, por lo que no se determina en la mayoría de los laboratorios de análisis de aguas. (Bellostas, 2009, p.32)

Características Microbiológicas

Las características microbiológicas se refieren a las propiedades y atributos de los microorganismos, que pueden ser beneficiosos o perjudiciales para la salud humana, animal y el medio ambiente.

Por eso es importante tener valores límites guía que son herramientas importantes para verificar la calidad microbiológica del agua y garantizar su seguridad para el consumo humano y la salud pública.

En Guatemala de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), se ha establecido una normativa donde se establecen los valores límites guía para diversos parámetros microbiológicos del agua, puesto que la misma es fundamental para proteger la salud pública y garantizar el acceso al agua segura.

En tal sentido la Norma Técnica Obligatoria OGUANOR NGT 29001, establece los límites guía para la evaluación de la calidad microbiológica del agua en el territorio guatemalteco. Estos valores se presentan en la tabla 3, y se refieren a la presencia de microorganismos patógenos como la *Escherichia coli*, coliformes totales, y otros microorganismos indicadores de contaminación fecal. Toda municipalidad debe de aplicar esta normativa, puesto que es crucial para garantizar el cumplimiento de los estándares sanitarios y proteger la salud de la población guatemalteca.

Tabla 3. *Valores límites guía para verificación de la calidad microbiológica del agua*

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

Tomado de (Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001, s.f.)

Enfoque Una salud en la calidad y acceso de agua potable

Agua y Saneamiento

El objetivo 6 de los objetivos de desarrollo sostenible, garantiza el acceso universal y equitativo del agua potable y saneamiento adecuado plantea garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para las personas y comunidades para el año 2030. Busca mejorar la calidad del agua, reducir la contaminación y aumentar la eficiencia en el uso del agua. La aplicación de este objetivo es esencial para mejorar la salud, la seguridad alimentaria, la educación y el bienestar económico de las personas, especialmente en países como Guatemala. Para lograr este objetivo se requiere la colaboración y la inversión en infraestructura y tecnología son fundamentales para lograr alcanzar este objetivo ambicioso y necesario.

El análisis de este objetivo queda demostrado en la aplicación del mismo en la pandemia del Covid-19, por parte de las recomendaciones de la OMS que de manera resumida se expresaba así:

“la Pandemias del COVID-19 ha puesto de manifiesto la importancia vital del Saneamiento, la higiene y un acceso adecuado a agua limpia para prevenir y contener las enfermedades. La higiene de manos salva vidas. Pues el lavado de manos es una de las acciones mas efectivas que se pueden llevar a cabo para reducir la propagacion de patógenos y prevenir infecciones, incluido el virus de la COVID-19. Aún así hay muchas personas que carecen de acceso a agua salubre y saneamiento” (Organización de las Naciones Unidas , 2022)

El código Municipal vigente a la fecha, en el artículo 68 competencias propias del municipio define como parte de las competencias propias del municipio, el abastecimiento de agua potable y alcantarillado, su regulacion y la administración, operación y mantenimiento de los sistemas, así como la determiación y cobro de las tasas (Congreso de la República de Guatemala, 2002)

Por esa razón el acceso a agua limpia y saneamiento es fundamental para la salud publica y el bienestar humano. En todo el mundo muchas personas carece de acceso a estas necesidades básicas, lo que da como resultado enfermedades y muertes prevenibles.

Lo anterior se fundamenta en estudio publicado en la revista the Lancet en 2019, en donde manifiestan que el acceso al agua potable y saneamiento sigue siendo una de las principales causas de las enfermedades en el mundo. El informe señaló que el acceso insuficiente a agua y saneamiento adecuados problema grave en los países de bajos ingresos donde más del 50% de la población no tiene acceso a servicios de saneamiento (The lancet, 2021)

En otro estudio sobre la mejora de la calidad del agua potable en el crecimiento de la primera infancia en la zona rural de India, los autores evaluaron el impacto de la falta al acceso a agua potable y saneamiento en la mortalidad infantil. Además, el estudio encontró que las mujeres y los niños son los más afectados por la falta de acceso a agua potable y saneamiento, ya que las mujeres son las encargadas de recolectar agua y los niños tienen un mayor riesgo de enfermedades diarreicas (Mira Johri, Marie-Pierre Sylvestre, Georges Karna Koné, Dinesh Chandra, S. V. Subramanian, 2019)

De acuerdo a la revista del "Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development en el año 2018, los autores encontraron lo siguiente:

“la contaminación del agua es responsable de más de 1,5 millones de muertes al año, la mayoría de las cuales ocurren en países de bajos ingresos.

Además, el estudio encontró que la contaminación del agua también tiene efectos negativos en la economía, debido a los costos de la atención médica y la pérdida de productividad” (Nuhu Ismaila; Issah Baddianaah; Nicholas Fielmua; Sophia Dimah Nandzo; Fauzi Rahman Salifu ..., Volumen 13)

Por otro lado la OMS manifiesta que si bien ha habido progresos de forma sustancial en la ampliación del acceso a agua potable y saneamiento todavía muchas personas carecen de este servicio básico, una de cada tres personas no tiene acceso al agua potable de calidad y dos de cada cinco personas no disponen de instalaciones para el lavado de manos con agua y jabón para prevenir la propagación de patógenos y prevenir infecciones, incluido el virus de la COVID-19 (Organización Mundial de la Salud, 2016)

Derivado de lo anterior se puede deducir que, la falta de acceso a agua potable y saneamiento adecuado sigue siendo un problema grave en todo el mundo, especialmente en los países de vías de desarrollo. Los estudios mencionados anteriormente destacan la importancia de abordar este problema de manera efectiva para mejorar la salud pública y el bienestar humano, así como para impulsar el desarrollo económico.

El enfoque una Salud y el acceso a la calidad del agua

Aspectos históricos del enfoque una salud

Este enfoque surgió al observarse la creciente preocupación mundial por las enfermedades zoonóticas, en donde los profesionales de la salud pública y los científicos de diversas disciplinas comenzaron a reconocer que la salud humana, animal y ambiental estaban interconectadas y que se necesitaba una estrategia integradora para abordar los problemas sanitarios en su conjunto

En 2004 la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Mundial de la Salud Animal (OIE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) adoptaron oficialmente el enfoque Una Salud como un marco para abordar las enfermedades zoonóticas y otras amenazas a la salud global.

Desde entonces, el enfoque una salud se ha utilizado cada vez mas para abordar una amplia gama de problemas de salud pública, incluyendo enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes, la resistencia a los antimicrobianos y la salud ambiental.

El enfoque una salud reconoce que las personas, los animales y el medio ambiente están intrínsecamente interconectados y que se necesitan esfuerzos colaborativos para abordar los desafíos de salud pública. Como tal, el enfoque Una Salud es una respuesta integral y multisectorial a los desafíos de salud global que involucra a múltiples disciplinas incluyendo la salud humana, la salud animal, la ecología y la veterinaria, la biología, la microbiología, y la salud pública, la agricultura y otros campos sobre todo el de la inocuidad alimentaria.

El Enfoque una Salud y el acceso al agua de calidad

El enfoque de Una Salud (One Health) es una perspectiva interdisciplinaria que reconoce la interconexión entre la salud humana, la salud animal y la salud del medio ambiente. Este enfoque busca abordar los desafíos globales de salud pública de manera holística, integrando la investigación, la vigilancia, la prevención y el control de enfermedades en humanos, animales y ecosistemas.

Un estudio publicado en la revista *Lancet Planetary Health* (2018) analizó la importancia del enfoque de Una Salud en la prevención y el control de enfermedades infecciosas emergentes. Los autores destacan la necesidad de fortalecer la colaboración y la coordinación entre los sectores de la salud humana, la salud animal y la salud ambiental para identificar y responder a las amenazas para la salud global.

Otro estudio publicado en la revista *EcoHealth* (2019) evaluó el impacto del enfoque de Una Salud en la prevención de enfermedades zoonóticas en países de bajos y medianos ingresos. Los autores concluyeron que el enfoque de Una Salud puede mejorar significativamente la prevención y el control de enfermedades zoonóticas en estos países al abordar los factores subyacentes que contribuyen a la transmisión de enfermedades, como la pobreza, la falta de acceso a servicios de salud y la degradación ambiental.

Además, un artículo publicado en la revista *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* (2020) destacó la importancia del enfoque de Una Salud en la prevención y el control de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores, como la

malaria y el dengue. Los autores argumentaron que la colaboración entre los sectores de la salud humana, la salud animal y la salud ambiental es esencial para abordar los complejos factores que influyen en la transmisión de enfermedades por vectores.

En resumen, el enfoque de Una Salud se ha convertido en una perspectiva cada vez más importante en la investigación y la prevención de enfermedades infecciosas. La colaboración y la coordinación interdisciplinarias son esenciales para abordar los complejos factores que influyen en la transmisión de enfermedades entre humanos, animales y el medio ambiente.

Prioridades del enfoque una Salud

Como hemos venido describiendo el enfoque “Una Salud” es una estrategia que busca abordar los vínculos entre salud humana, la salud animal y el ambiente. De Allí que las prioridades claves que ha fijado la FAO en el enfoque "Una Salud" son las siguientes:

“Fortalecimiento de la vigilancia y el monitoreo: La vigilancia es esencial para la detección temprana de enfermedades y la identificación de brotes. La colaboración entre los sectores de salud humana, animal y ambiental es fundamental para una vigilancia efectiva, sobre todo en **los sistemas de alerta temprana.**

Control de enfermedades zoonóticas: Las enfermedades zoonóticas son aquellas que se transmiten de animales a humanos. La prevención y el control de estas enfermedades son fundamentales para proteger la salud pública.

Promoción de la salud y prevención de enfermedades: La promoción de la salud y la prevención de enfermedades son clave para reducir la carga de enfermedades en las personas y los animales. Esto incluye la vacunación, la higiene y la educación en salud y Aumentar la capacidad de gestión de los de los riesgos de la RAM, preparación y respuesta de emergencia efectivas relacionadas con la cadena alimentaria, problemas con la inocuidad alimentaria, y otros eventos relativos a la salud en la interfaz entre seres humanos, animales, plantas y ecosistemas.

Gestión de la salud ambiental: El medio ambiente es un factor importante en la salud humana y animal. La gestión adecuada de los recursos naturales, el control de la contaminación y la protección de la biodiversidad son esenciales para la salud y el bienestar a largo plazo.

Investigación y desarrollo de políticas: La investigación y el desarrollo de políticas basadas en evidencia son fundamentales para abordar los vínculos entre la salud humana, animal y ambiental de manera efectiva.

La colaboración entre los sectores y la participación de las comunidades son esenciales para el éxito del enfoque "Una Salud". (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura--FAO-, 2017)

Materiales y Métodos

Recursos

Presentar un párrafo introductorio

Metodología

La investigación se desarrollará de la siguiente manera:

Mejorar redacción, indicando que solamente se trabajó con los pozos artesanales del Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala.

Contabilizar el número de pozos existentes dentro de la ciudad, se estimará en función del porcentaje de viviendas que “SI” cuentan con uno; información que se obtendrá a partir de un muestreo, a través de encuestas en diferentes viviendas más cercanas a cada punto, a través de una boleta de campo; dicha boleta incluyó, además de la identificación de si existe o no un pozo en la vivienda, otros parámetros relevantes para caracterizar el uso que los propietarios del pozo hacen del agua, incluyendo además la posición geográfica correcta del mismo. La distribución geográfica de los mismos se determinará a partir de la posición geográfica de los pozos identificados.

- Procesamiento de datos: La información recopilada se tabularon utilizando una hoja de cálculo electrónico (Microsoft Excel).
- Análisis e interpretación de resultados: Con base en los resultados de pozos artesanales, identificados durante la encuesta, se podrá estimar el porcentaje (total y por zonas) de viviendas que cuentan con pozo.
- Selección de puntos de muestreo: Para evaluar la calidad del agua subterránea, se seleccionará como unidad de muestreo los pozos artesanales en la comunidad correspondiente
- Colecta de muestra de agua
 1. Purga del pozo: Se selecciona la llave de paso más cercana al pozo y se deja fluir el agua durante 3 a 5 min. aproximadamente, con el fin de remover el agua estancada y homogenizar la muestra, de pozos que utilicen bombas sumergibles

2. Colecta de la muestra: Se recolecta agua en dos tipos de recipiente según los parámetros a evaluar, los cuales se encuentran esterilizados y herméticamente sellados hasta el momento de la recolección de la muestra. Para el caso de los parámetros fisicoquímicos, se recolectará agua utilizando 2 botellas plásticas (color blanco), con capacidad de 1Lt. c/u. Para los parámetros bacteriológicos, se utilizará 1 bote plástico (transparente) especial para ese fin, con capacidad para poco más de 100ml.
 3. Almacenamiento y transporte de muestras: Las muestras se almacenan y transportan en hieleras hacia el laboratorio, donde se almacenan en cámaras frías a una temperatura media de 4°C. El tiempo máximo entre la toma de la muestra y su almacenamiento en el laboratorio es de 5Hrs.; después de este tiempo, el almacenamiento dentro del laboratorio se prolonga según los requerimientos máximos para cada parámetro.
- Análisis de compuestos químicos
 1. Especies de nitrógeno, sulfatos y fosfatos: Con base en la metodología de la APHA y AWWA (1992), se analizan los niveles de concentración de nitrógeno de nitratos y de nitritos, así como de sulfatos y fosfatos.
 2. Dureza total: Este parámetro se analiza por titulación con el EDTA (ácido edético), método basado en la cuantificación de los iones de calcio y magnesio y su posterior conversión a Dureza Total expresada como CaCO_3 .
 3. Bacterias coliformes: Se analizan coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, utilizando el método del Número Más Probable o Tubos Múltiples modificación con LMX (15 tubos). Las pruebas se incuban a 37°C por 24 h. Para conteos bajos se utilizará la prueba de petrifilm.
 - Análisis e interpretación de resultados: En función de los parámetros de calidad seleccionados, se determinará la aptitud para el consumo humano del agua proveniente de pozos artesanales a partir de las valoraciones para cada parámetro, establecidas para este fin por la COGUANOR en la Norma NGO 29.0

De hecho en el cantón Pucá I, existe un centenar de pozos artesanales de agua subterránea, que se utiliza para consumo humano y actividades domésticas y agrícolas de las cuales se tomaran muestras para evaluar a través de análisis microbiológicos y fisicoquímicos que

incluya pH, sales de calcio y magnesio, coliformes totales y coliformes fecales, debido a la contaminación del río Ixpatz y fosas sépticas para depósitos de sólidos, turbidez, pH, sólidos disueltos totales, dureza, amoníaco, sulfatos, color, olor, sabor, hierro manganeso, aluminio, nitratos, oxígeno disueltos, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y coliformes fecales.

Resultados y Discusión

En la presente investigación se analizó el agua de pozos artesanales del Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala.

En la figura 4 se indica la distribución porcentual de casas muestreadas de acuerdo con su ubicación, se considera Calle 1, 18 pozos (28.57%), Calle Central 22 pozos (33%), Calle Molino de Arroz 19 pozos (30%), Calle Callejón Faugier 4 pozos (6.3%), para un total de 63 pozos muestreados

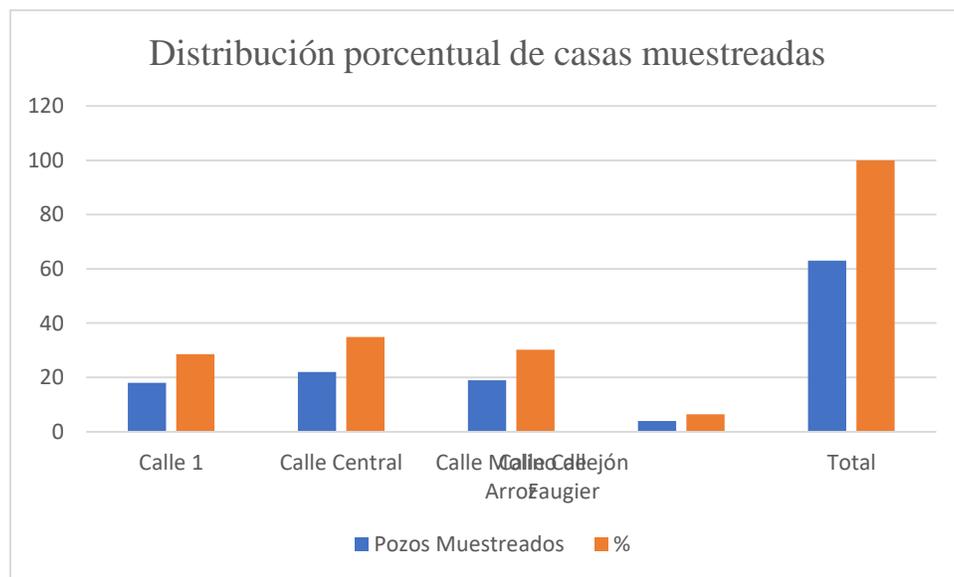


Figura 4. *Distribución porcentual de casas muestreadas*

Una vez seleccionados los puntos de muestreo, se identifican los tiempos de construcción de cada uno de éstos, en la figura 5 se muestra los resultados obtenidos con respecto a esta variable en las diferentes localidades del Cantón.

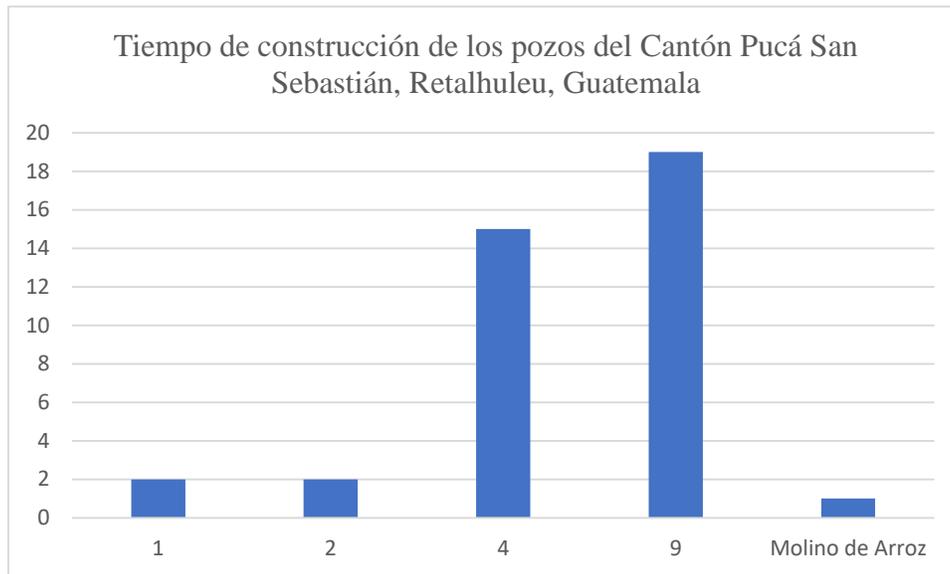


Figura 5. *Tiempo de construcción de los pozos del Cantón Pucá San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala*

La información obtenida con relación a la construcción de los pozos indica que el 68.25% tienen un tiempo de construcción mayor a 10 años de antigüedad, siendo la Calle 1 y Calle Central los que tienen los pozos más antiguos. El 14.29 % de los pozos muestreados tienen reciente construcción, menor a 5 años, éstos se encuentran ubicados en la Calle Central y Calle Molino de Arroz y corresponden al 11% de los pozos muestreados.

El restante 6.35% no se cuenta con certeza de la cantidad de años de construcción y siendo un número reducido con respecto a la totalidad de los pozos identificados.

Como se puede observar en la figura 6, de los pozos del estudio un 38.09% recibe un único mantenimiento al año. Este mantenimiento, consiste en un lavado del pozo y cloración luego del nuevo llenado del pozo

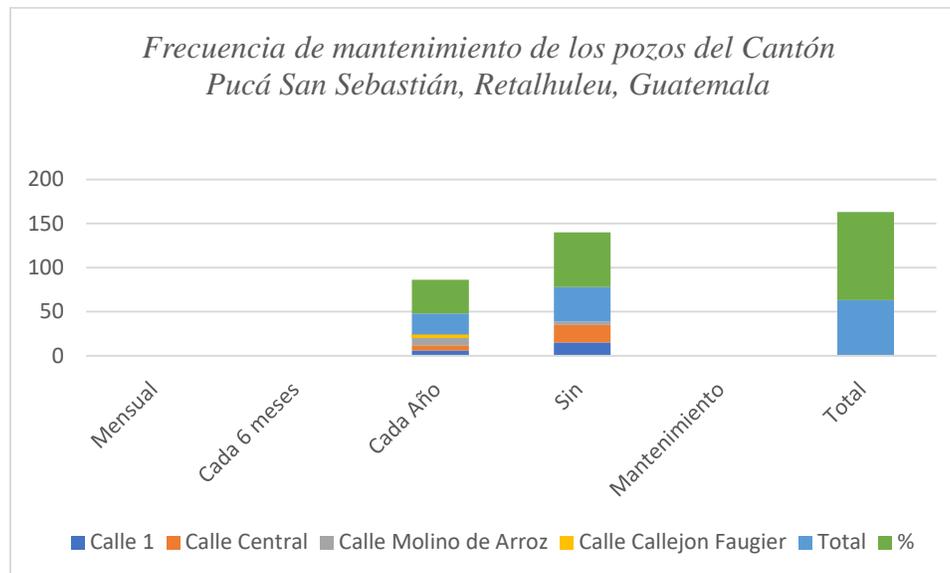


Figura 6. *Frecuencia de mantenimiento de los pozos del Cantón Pucá San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala*

El 61.90% de los pobladores del Cantón Pucá no le da mantenimiento de ninguna índole a los pozos que les abastece el líquido, con lo que existe la posibilidad de acumulación de residuos y generación de contaminantes para el uso definido y (mejorar redacción).

En la figura 7 se indica el uso del agua de los pozos artesanales del Cantón Pucá San Sebastián Retalhuleu, donde el 49.20% utilizan el agua para consumo y el 30.16% lo utilizan para lavado de alimentos, ambas actividades consideradas primarias para el aseo e higiene personal. También destaca que el 20.64% lo utilizan para lavado de alimentos y lavado de platos, ollas, tenedores, y otros instrumentos de cocina, los cuales pueden ser medio de contaminación cruzada durante el consumo de alimentos. De acuerdo con los resultados no se cuenta con pozos de agua cuyo destino sea el uso en agricultura.

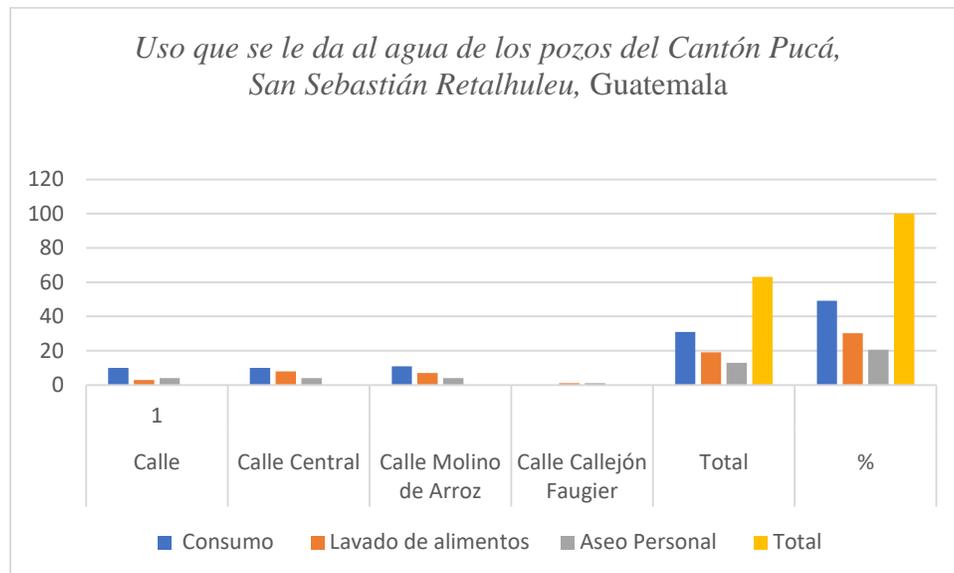


Figura 7. *Uso que se le da al agua de los pozos del Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala*

Resultados microbiológicos obtenidos durante la investigación

Los resultados obtenidos para evaluar la calidad microbiológica del agua de pozos artesianos o artesanales se presentan a continuación en la tabla 4.

Según los resultados mostrados en Tabla 4, de los 18 pozos muestreados de la Calle 1, el 23.8% cumple con las exigencias de la norma COGUNOR 29001, mientras que en la calle Central dan cumplimiento a dicha norma 30.2%. De igual manera el 25.40% y el 6.30% de los pozos ubicados en la calle Molino de Arroz y Calle Callejón Faugier, respectivamente cumplen con la Norma COGUANOR 29001. Puede deducirse que el 85.7% de los pozos muestreados cumplen con la normativa al no existir crecimiento de coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa* (Tabla 4) en las muestras de agua.

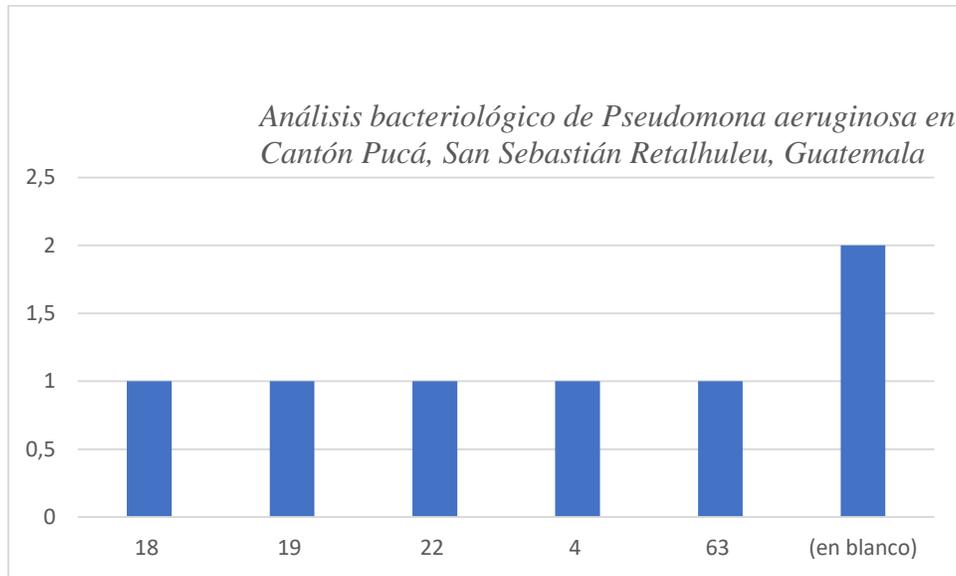
Tabla 4. Análisis bacteriológico de las aguas de los pozos en Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala

Análisis	Coliformes totales			<i>Escherichia coli</i>			Cantidad total de muestras
	Ubicación de los Pozos	Conformes	Fuera de especificación	% Cumplimiento	Conformes	Fuera de especificación	
Calle 1	15	2	23.8%	17	1	27.0%	18
Calle Central	19	3	30.2%	22	0	35.0%	22
Calle Molino de Arroz	16	3	25.4%	19	0	30.0%	19
Calle Callejón Faugier	4	0	6.3%	4	0	6.3%	4
Total	54	8	85.7%	62	1	98.0%	63

Fuente: elaboración propia.

Siempre en relación con los pozos muestreados para *Escherichia coli*, en las 63 muestras del estudio y tomadas en la Calle 1, Calle Central, Calle Molino de Arroz y Calle Callejón Faugier, se detectó que solo una de ellas perteneciente a la Calle 1, presentó crecimiento de *E. coli.*, contraviniendo la exigencia de la Norma COGUANOR 29001. Por tanto, de las muestras tomadas de los pozos de la Calle 1, Calle Central, Calle Molino de Arroz y Calle Callejón Faugier, el 98% de las mismas dan cumplimiento a los parámetros exigidos por dicha norma para determinar la calidad bacteriológica del agua de pozos del Cantón Pucá 1 (ver anexo 7).

Desde el punto de vista bacteriológico y específicamente para el análisis de *Pseudomona aeruginosa* mostrados en la figura 8, los pozos artesanales de abasto de agua son conformes de acuerdo con a las especificaciones establecidas en la norma ya que el 100% de las muestras indicaron la ausencia de *Pseudomona aeruginosa*



Fuente: Elaboración Propia

Figura 8. Resumen de cumplimiento microbiológico del agua de los pozos del Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala

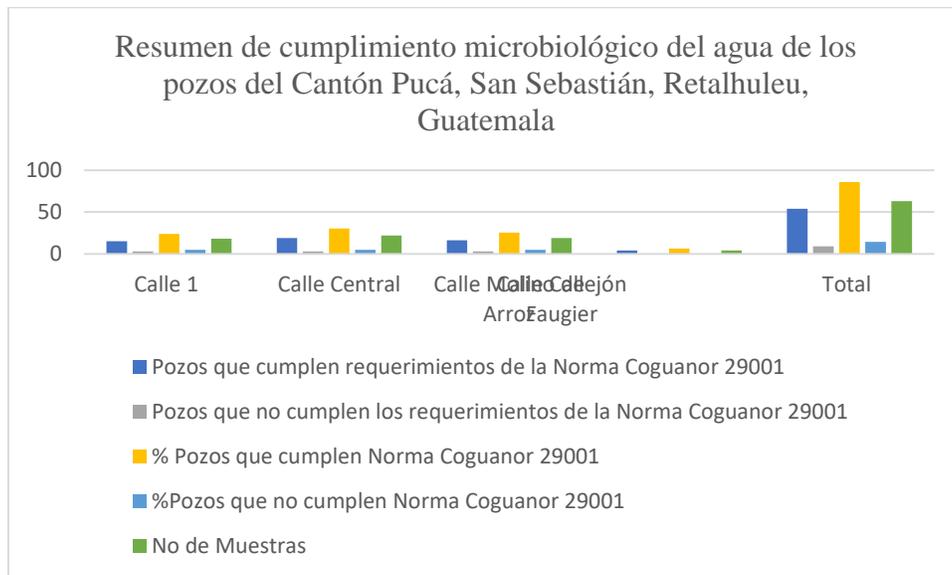


Figura 9. Resumen de cumplimiento microbiológico del agua de los pozos del Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala

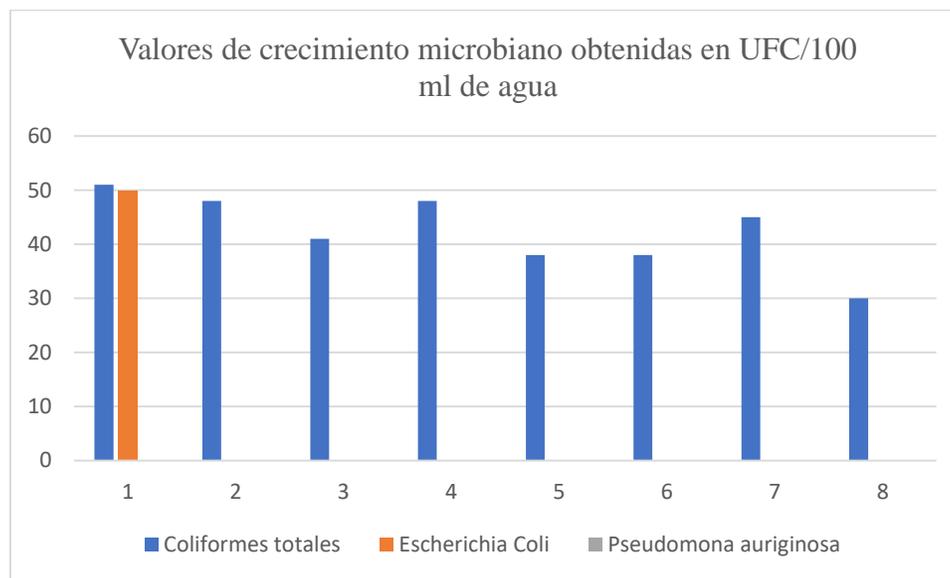
La Norma Coguanor NTGC29001 establece la carencia de UFC de cualquier microorganismo en una muestra de 100 ml de agua. Como es sabido las UFC, es un indicador de la cantidad de microorganismos vivos en el agua.

De las muestras tomadas los pozos de la Calle 1, Calle Central, Calle Molino de Arroz y Calle Callejón Faugier, 3 muestras para cada una de las ubicaciones resultaron contaminadas representando el 14.28% del total de los pozos. Para el caso de Callejón Faugier 100% de los pozos conforme basados en los resultados microbiológicos.

Este parámetro es de importancia en la calidad del agua para observar el desarrollo de las bacterias, puesto que el desarrollo de estas representa un peligro de salud pública cuando es utilizada para fines domésticos y de agricultura.

Como se puede observar el mensaje Una Salud es claro; al indicar la importancia que tiene la prevención para evitar la contaminación del agua de los pozos como recurso vital para existencia de todos los seres y su subsistencia armónica. Las fuentes de posible contaminación de los pozos son debido a la mala protección de los pozos y estra cerca de árboles en donde reposan aves silvestres y no tener el cuidado de protegerlos con tapaderas de hormigón o bien de láminas de acero inoxidable. Desde el punto de vista bacteriológico, en todos los casos el examen microbiológico indicó la presencia de coliformes totales, *Escherichia coli* y ausencia de *Pseudomona aeruginosa* en la figura 10 muestra el resumen de los pozos resultantes con presencia de microorganismos y su cuantificación.

Figura 10. Valores de crecimiento microbiano obtenidas en UFC/100 ml de agua



Fuente: Elaboración Propia

Los valores de crecimiento de microorganismos entéricos están muy por encima de los valores indicados en la Norma Coguanor NGT 29001, que es la norma que se aplica a toda agua para consumo humano, preparación de alimentos y uso doméstico. Proveniente de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otras y que puede estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos.

Esta información da una idea del tipo de bacterias causantes de la contaminación de los pozos detectados que son fuente de la mala calidad de agua de consumo, es de indicar que estos microorganismos pueden encontrarse en el agua por varias fuentes de contaminación como lo son poca atención a mantener tapados los pozos, fauna silvestre que llega a posar sobre los pozos y puedan defecar, dejando caer las heces sobre el agua de consumo, o mala higiene del lavado de manos, debido a que en muchas localidades todavía se extrae el agua manualmente, desechos orgánicos en el suelo, fosas sépticas, letrinas o pozos cercanos a ríos que sirven como desagües industriales.

Las bacterias coliformes totales son un indicador importante de la presencia de microorganismos patógenos en el agua, lo que puede tener graves consecuencias para la salud pública. Según los estándares de la Norma Coguanor NGT 29001, las concentraciones de bacterias coliformes totales deben de ser 0 UFC/100mL, por lo que estos pozos tienen

problemas de contaminación, en el presente estudio el crecimiento de bacterias coliformes totales y *Escherichia coli* sobrepasaron los límites permitidos por la normativa. Esto nos indica si no se toman las medidas necesarias para corregir la contaminación del agua, como la cloración de pozos y la corrección del pH, estas aguas contaminadas pueden causar enfermedades en las personas que las consumen. Por lo tanto, es importante llevar a cabo las medidas de prevención necesarias para garantizar la calidad y la seguridad del agua.

Estos resultados obtenidos difieren a los encontrados por (Tacuri Flores Roxana, 2018) que reporta crecimiento bacteriano de 120 UFC/100 ml, en la determinación de la calidad del agua en pozos artesianos de Juliaca, Puno Perú.

En otro estudio elaborado por Montes de Oca, la mayoría de los pozos de tres comunidades del valle de Yeguaré, Honduras, están contaminados con coliformes termo tolerantes. De los 32 pozos analizados en la zona de San Francisco 23 presentan este tipo de coliformes. En la zona de El Pedregal 3 pozos de los trece analizados sobrepasan la norma hondureña de 0 UFC 100ml-1. Se estima que esta contaminación es producto del estiércol de ganado y la cercanía de los pozos de agua a las fosas sépticas. (Montes de Oca Martínez, 2009)

En el caso particular del presente estudio también pueden representar un peligro fuera de la comunidad pues al colocar productos como hortalizas autóctonas de hoja como el Chipilín (*Crotalaria longirostrata*) y hierba mora (*Solanum nigrescens*) hortalizas de hoja muy apreciadas y de alto consumo en la zona en el departamento de Retalhuleu y Quetzaltenango, son lavadas antes de comercializarlas en los mercados cantonales y venta al detalle, hacen un peligro que puedan aumentar las enfermedades diarreicas en pobladores fuera de esta localidad.

Bacteriológicamente el agua de estos ocho pozos artesanales, según la norma COGUANOR NGO 29001, se consideran como no aptos para consumo humano, se resalta que las muestras fueron tomadas en el brocal del pozo, esto indica que no poseen ningún tipo de tratamiento para potabilizar el agua, ésta fue extraída de su reservorio natural y hay seguridad que es potable (Argueta López, 2009)

El agua a suministrar para el consumo humano debe cumplir con los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001, para saber si el agua no afectará en materia de salud a las personas beneficiadas por el proyecto de agua y se pueda decir que ésta es potable.

Características químicas que debe tener el agua para consumo

Análisis Físicoquímicos de la calidad del agua de Pozos artesanales del Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu

Los resultados físicoquímicos obtenidos incluyeron los macronutrientes del agua, y se compararon parámetros influyentes de la calidad de agua de consumo de pozos artesanos como lo son los contenidos de cloro, cloruros, hierro, nitratos, cloruros, pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos, exigidos en la norma COGUANOR 29001.

Determinación de Color y Olor:

La norma NTG COGUANOR 29001, establece las Unidades de color en la escala de platino-cobalto que el LMA es de 5.0 unidades y Límite Máximo Permitido, es de 35 unidades. El promedio de las muestras realizadas demuestra 0.1 unidades para color. Para olor las normativas establecen el rango cualitativo No rechazable, en este orden todas las muestras cumplen con las normativas teniendo la cualidad de aceptable.

Análisis de Turbiedad

La turbidez del agua se refiere a la opacidad o turbidez, una medida de cómo las partículas afectan la transmisión de la luz en el agua. La norma NGC Coguanor 290001 especifica el rango máximo y mínimo para el método de turbiedad del agua, respectivamente, y especifican que la calidad estética del agua potable debe estar entre 0,5 UTN y 15,00 UTN. El análisis promedio informado indicó que el agua de los pozos artesanales fue de 0.3 UNT.

Los estudios de calidad del agua miden la turbidez del agua de pozo para garantizar que las enfermedades transmitidas por el agua sean problemáticas, especialmente los oquistes de *Giardia* y *Cryptosporidium parvum*. Desde un punto de vista epidemiológico, la turbidez del agua se utiliza para controlar los patógenos mencionados anteriormente (Abreu Acosta et al. (2002). En general, la medición de la turbidez del agua muestra cuánto o cuántas partículas reflectantes afectan la claridad de la muestra, aunque no sean detectables por el ojo humano.

Argueta López en su estudio sobre el aprovechamiento del agua subterráneas de los recursos hidráulicos, en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, reporta datos de turbiedad de 0.044 UTN, lo cual coincide con los datos por debajo de lo requerido por la Norma COGUANOR 290001. (Argueta López Adhemar Enrique, 2009)

Análisis de Conductividad Eléctrica del agua

La conductividad del agua es un parámetro que varían en función de la fuente de agua, pues es un indicador de la filtración en aguas de pozos o de fugas de aguas residuales que puedan llegar a las aguas subterráneas.

Los resultados obtenidos en el presente estudio manifiestan que la Norma NGT COGUANOR 29001 permite un límite máximo aceptado de 750 y un límite máximo permitido de 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los datos obtenidos en el presente estudio fueron en promedio de 256.7 (μ Siemens/cm), lo cual indica un que la circulación del agua es normal para ser usada y consumida para uso humano.

Giron y Giron reporta en relacion a la conductividad eléctrica del agua den pozos artesanales de la ciudad de Chiquimula Guatemala, arrojó un valor de 549 (μ Siemens/cm). La diferencia entre ambos estudios en cuanto a este parametro fisicoquímico es significativa, la diferencia puede deberse a a razones como la ubicación geográfica o a condiciones ambientales en el momento de la toma de muestras (Girón y Girón Dayryn Estefany, 2011, pág. 41)

Esta diferencia podría deberse a varias razones, como la ubicación geográfica, condiciones locales de cada pozo, material del subsuelo y la construcción el pozo como tal, la toma de muestras donde se tomaron o incluso las condiciones ambientales en el momento de la toma de muestras.

Es de importancia destacar que la conductividad eléctrica de agua es un parámetro fundamental en la evaluación de la calidad del agua y diferentes aplicaciones y la medición precisa de este parámetro es esencial para garantizar la seguridad del agua en distintos contextos como la producción de alimentos, industria alimentaria y química o en la potabilización del agua para uso humano.

pH (Unidades)

El comportamiento promedio durante el análisis de pH fue de 7.17, rango que permaneció dentro de los criterios analíticos para los pozos muestreados en el Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu. Las tendencias durante la evaluación indican que el nivel del pH es normal, pero si no se tienen cuidado o tratamiento del agua de los pozos podría tender hacia la alcalinidad, y presentar algunos problemas de incrustaciones por dureza, aunque no represente un riesgo para la salud, pero si problemas de estética, así como la formación de incrustaciones blanquecinas en vasos y vajillas de cocina. Los datos obtenidos en el presente estudio se presentan en la tabla 12, en relación con las normativas indicadas en el estudio.

Es importante mencionar que el pH como una medida de acidez o alcalinidad se expresa en una escala numérica que va de 0-14 siendo 7 un pH neutro. Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación difieren a los obtenidos por Jo Hernández, quien reporta pH de 7.7 a 8.68, en aguas del Río El Tala, Catamarca, Argentina. Se deduce que en dichos estudios las aguas son ligeramente alcalinas y se encuentran dentro de los valores aceptados para un cuerpo de agua. (Hernández Viquez Claudia, 2016)

Análisis de Sólidos totales disueltos (STD)

Los resultados de sólidos disueltos totales medidos en diferentes pozos artesanales promediaron 183 ppm con un valor máximo admitido de 500 ppm y un valor máximo permitido de 1000 ppm, tal como lo indica la Norma NGT COGUANOR 29001.

Los sólidos disueltos totales incluyen sales inorgánicas tales como bicarbonatos, cloruros y sulfatos de calcio, magnesio, potasio y sodio, y una cantidad mínima de materia orgánica disuelta en agua. Se utilizan principalmente para estudios de calidad del agua natural, incluidas las aguas superficiales y subterráneas.

Los sólidos disueltos totales (TDS) consisten en sales inorgánicas (principalmente calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica disuelta en agua. La concentración de TDS es la suma de todas las sustancias filtrables presentes en el agua y puede determinarse gravimétricamente. Sin embargo, en la

mayoría de los casos, el TDS se compone principalmente de iones. TDS se utiliza principalmente para estudios de calidad del agua en cuerpos de agua naturales, incluidas las aguas superficiales y subterráneas.

Ambientalmente el agua con grandes cantidades de sólidos disueltos tiene mal sabor para los consumidores y puede ser inadecuada para bañarse o para limpiar equipos y lavado de verduras. Aunque los TDS no son un contaminante primario, son un indicador de la calidad del agua. El estándar secundario de calidad del agua de la OMS para la concentración de TDS establece un valor máximo de 500 mg/L para garantizar que el agua potable resulte agradable al paladar. Los altos niveles de sólidos disueltos en el agua potable pueden afectar a su sabor y hacer que sepa amarga o salada.

En estudios realizados por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) denominado “Estudio del desarrollo sostenible del agua subterránea en la sabana de Bogotá, en la república de Colombia, encontraron valores arriba de los límites permisibles y aceptables por la Norma Colombiana que es de 500 mg/l – 1000 mg/l, indicando que los pozos que excedieron la norma Colombiana están distribuidos en áreas de manantiales calientes y de rocas salinas y las parates bajas de las corrientes de la cuenca del Río Bogotá (Agencia Japonesa de Cooperación Internacional -JICA_ , 2010)

Determinación de parámetros de calcio

El agua cálcica está relacionada con aguas de recarga. La recarga cálcica en los pozos artesianos del cantón Pucá San Sebastián Retalhuleu, procede de las montañas circundantes y la infiltración de los ríos Ixpatz y Salamá. Es importante mencionar que también las precipitaciones pluviales son altas y los pozos pueden también aumentar dicho mineral por infiltración superficial. Puede explicarse que el predominio de este mineral en la región es debido a la zona topográfica y litológicas del lugar, por ejemplo, gravas y arenas que son ricas en calcio y además de estar cercana a zonas volcánicas donde se encuentran el volcán Santa María y Santiaguito.

Las concentraciones detectadas de este ion no sobrepasan los valores máximos admisibles o aceptados (37 ppm equivalentes a 37mg/L) establecidos por las normas COGUANOR NGT

29001 que son 75 ppm Límite Máximo Aceptado y hasta un 150 de Límite Máximo Permitido.

Los datos obtenidos en el presente estudio difieren a los resultados obtenidos en el estudio “Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008” donde se obtuvieron resultados de 95.26 ppm en promedio de CaCO_3 , siendo superior a los obtenidos en este estudio (Rodríguez Zamora Johel, , 2009, págs. 125-134),

Esto es de importancia para la calidad del agua de pozos artesanales de San Sebastián Retalhuleu, puesto que los niveles bajos garantizan que el agua obtenida con esos niveles bajos de calcio no presentan riesgo en la formación de cálculos en la formación de cálculos en las vías urinarias (litiasis urinaria)

Determinación de magnesio (Mg)

Los parámetros encontrados de magnesio en los pozos de cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu se presentan en la Figura 11.

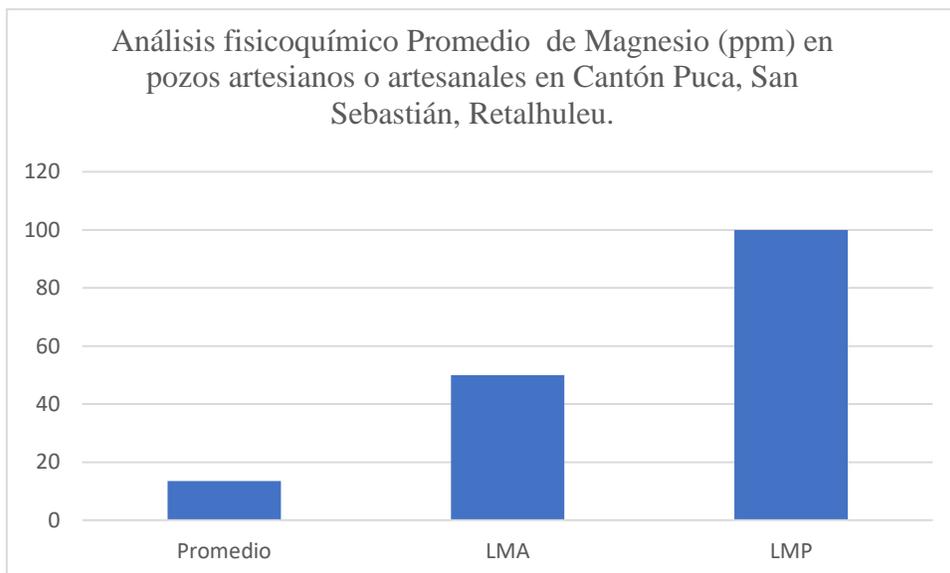


Figura 11. Análisis fisicoquímico promedio de Magnesio (ppm) en pozos artesanales en Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu

Tomado de: elaboración propia con resultados emitidos por el laboratorio.

Los parámetros Máximo admisible y Máximo permisible de acuerdo con la Norma NGO COGUANOR 29001, es de 50 y 100 ppm respectivamente. Los resultados promedio obtenidos en la investigación fue de 14 ppm. Esto nos indica que este mineral es bajo en la zona de estudio. El Magnesio junto al calcio en el agua desarrollan incrustaciones, visibles en grifos y zonas expuestas al líquido. Las aguas altas en Magnesio junto al calcio tienen repercusiones dañinas en la salud humana al formar cálculos renales como resultado de que este órgano filtra el agua y elimina los residuos. Por esa razón es importante beber agua lo más blanda que se pueda. (Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001, s.f.)

Así mismo, en el Diagnóstico de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural noreste del municipio de León, Nicaragua de la comunidad de La Peineta, en relación al ión magnesio se encontraron valores > 125 mg/l de Magnesio, en donde el 94% del agua de los pozos no cumple con los indicadores de magnesio establecidos en las norma CAPRE (González Oscar, Aguirre Javier, Saugar, Gema, Orozco Lylii, Palacios Karen, , Guevara Octavio, 2007, págs. 7-13)

Podemos observar que los niveles de concentración de magnesio en el agua potable de San Sebastián Retalhuleu es significativamente menos que la del municipio de León, Nicaragua. Lo importante en ambos casos es monitorear con frecuencia la calidad del agua para asegurar que cumple con los estándares de calidad y es segura para el consumo humano.

Determinación de manganeso total (Mn)

Los parámetros en relación con el límite máximo aceptado y límite máximo permitido con el contenido de Manganeso son de 0.1-0.4. Los resultados promedios de los pozos muestreados indican un rango de 0.023 lo cual indica que no sobrepasa los límites exigidos por la Norma NGT COGUANOR 29001 para aguas subterráneas y agua potable. La poca cantidad de este mineral en los pozos es debido a que por lo general están construidos parte arriba de las fosas sépticas y ríos con corriente recta que irrigan dicho cantón. La mayoría del área consiste en suelos bien drenados. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 12.

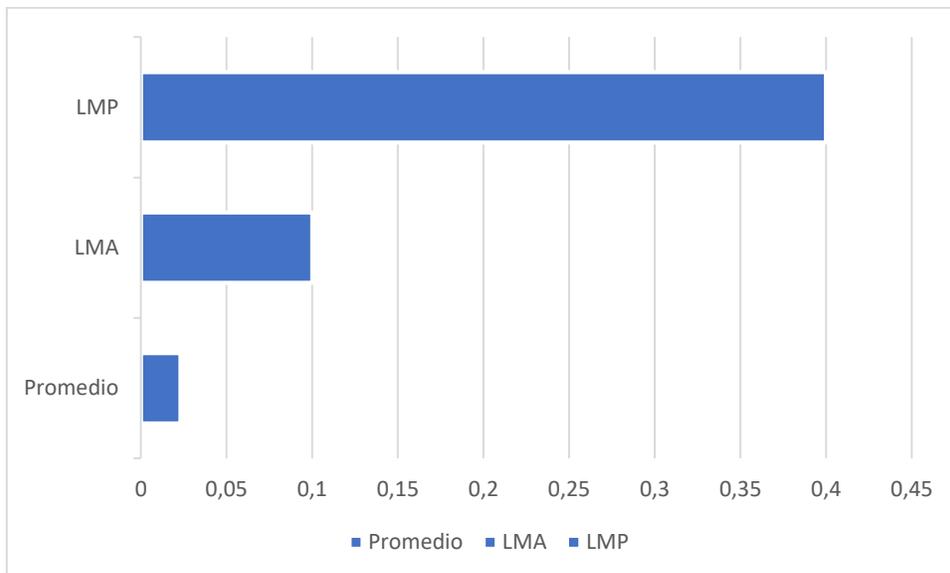


Figura 12. *Análisis de manganeso en agua de pozos artesianos o artesanales del Cantón Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu*

Los valores obtenidos en el presente estudio que fueron de 0.023 mg/ l, difiere a los obtenidos por Hernandez Viquez (2007) quien reporto niveles de 0.87 mg /l, en un estudio sobre la calidad del agua de la comunidad de 4 millas de Matina, Limón Heredia, sobrepasando mediciones de manganeso en los limites máximos permitidos aceptado por el Ministerio de Salud que es de 0.5 mg/ (Hernández Viquez Claudia, 2016, pág. 69).

Esto ratifica la calidad del agua de los pozos artesanales del Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala, al garantizar un color y olor agradable, puesto que esa es una de las características de la alta presencia de este mineral que esta por debajo de la Norma guatemalteca y la de Guia para la calidad del agua de consumo humano que acepta valores de 0.1 mg/l garantizando el agua para bebida, mientras que lo datos reportados en 4 millas de Matina Limón sobrepasa los limites permitidos por la guía de la Organización de la (OMS)

De importancia es que este mineral de acuerdo a la Guía para la calidad del agua de consumo humano puede desprender precipitados negos y causar problemas neurológicos en la exposición al consumo de aguas con altos índices en este mineral ((OMS), Organización Mundial de la Salud, 2011)

Análisis cloro Residual libre (ppm)

La medida del cloro residual en un suministro de agua es un método simple pero importante para revisar si el agua de los pozos es segura para consumo humano. En Guatemala la Normativa establece 0.5 ppm como límite máximo aceptable y 1.0 como límite máximo permitido. Los resultados promedio obtenidos en el laboratorio indican la presencia de Cloro Residual libre < 0.05 ppm. Dicho resultado se puede observar en la figura 13 y se presentan a continuación:

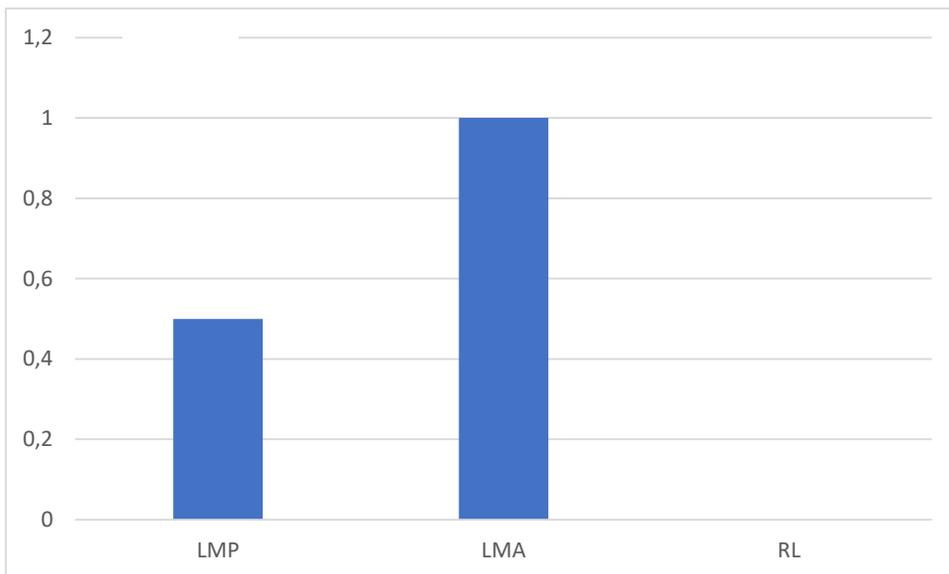


Figura 13. *Análisis promedio de cloro residual libre (ppm)*

Tomado de: elaboración propia con resultados del laboratorio.

La gráfica nos indica que los pobladores hacen uso de cloro para desinfectar el agua de los pozos y que posiblemente las autoridades de salud han capacitado a los comunitarios para agregar cloro a los pozos, con el objeto de inactivar bacterias y algunos virus que causan enfermedades gastrointestinales en los niños y adultos y la recontaminación durante la época de verano e invierno. En este sentido debe de tenerse presente que la cloración del agua mejora la calidad de esta por reaccionar con amoníaco, hierro, manganeso, sulfuros y sustancias orgánicas. El cloro puede afectar al producir efectos adversos en el agua. En el presente estudio se encontraron niveles menores a 0.05 ppm de cloro libre (< 0.05), estableciéndose que la concentración de cloro libre es menor a lo requerido en la norma COGUANOR 29001.

Por último, El Ministerio de Salud Pública y Asistencia social de Guatemala, indica, lo siguiente en relación con la desinfección de aguas y verduras:

“para desinfectar pozos debe de usarse una dosificación 50 veces mayor que la utilizada en tiempo normal; o sea 400 gotas equivalentes a 20 mililitros o bien dos y media tapitas. Para la desinfección de verduras y utensilios debe emplearse una concentración de cloro 10 veces mayor que la utilizada para la desinfección de agua en tiempo normal”.

Cloro La mayoría de las personas pueden detectar, mediante el olfato o el gusto, la presencia en el agua de uso y consumo humano de concentraciones de cloro bastante menores que 5 mg/l, y algunas incluso pueden detectar hasta 0.3 mg/l. El umbral gustativo del cloro es menor que su valor de referencia basado en efectos sobre la salud (ver secciones 8.5.4 y 12.1)

El cloro residual libre las mayoría de las personas lo pueden detectar mediante el olfato o el gusto la presencia en el agua para uso y consumo humano en concentraciones menores de 5 mg/l y algunos hasta de 0.3mg/l de acuerdo a su umbral gustativo.

La comparación indica que el nivel de cloro residual libre encontrados por López Lemus en el municipio de Colima es significativamente más alto que el encontrado en San Sebastián Retalhuleu. Mientras que en Colima el rango es de 0.3 a 1.5 ppm, en San Sebastián Retalhuleu se encuentra por debajo de 0.05 ppm. (López Lemus Uriel Alejandro, 2006, pág. 61)

El cloro residual libre es una medida importante de la cantidad de cloro disponible para desinfectar el agua. Un nivel adecuado de cloro residual libre puede ayudar a prevenir la propagación de enfermedades transmitidas por el agua. Sin embargo, un nivel demasiado alto de cloro residual libre puede ser tóxico para los humanos y otros organismos (López Lemus Uriel Alejandro, 2006, pág. 61)

Es importante tener en cuenta que los niveles de cloro residual libre pueden variar en diferentes ubicaciones y momentos, dependiendo de factores como la fuente de agua, el clima, la temporada, la demanda de agua y la calidad del agua. Por lo tanto, es importante realizar pruebas regulares para monitorear los niveles de cloro residual libre y ajustarlos según sea necesario para garantizar un suministro seguro de agua potable.

Análisis Cloruros (ppm)

La reglamentación establecida en la Norma NGO COGUANOR 29001 establecen como valor orientador de calidad como límite máximo aceptado 100 ppm y el límite máximo permitido es de 250 ppm. Los análisis de cloruros representan para el agua de consumo humano el gusto desagradable del agua. En la Figura 14 se presentan los datos promedios obtenidos para el presente estudio.

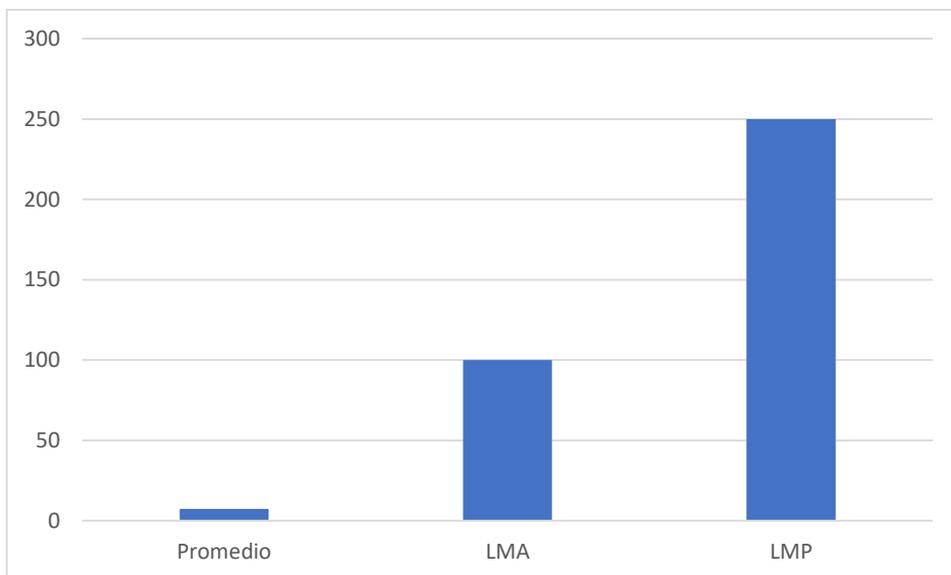


Figura 14. Análisis de presencia de cloruros (ppm) en agua de pozos de Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu

Tomado de: elaboración propia con datos obtenidos de los análisis de laboratorio. Se comprobó que los niveles de cloruros en agua de pozos artesanales tomaron valores de 7.4 ppm, lo cual indica que es agua apta para consumo humano por estar debajo de los límites permitidos y aceptados en la normativa guatemalteca. (Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001, s.f.)

El análisis encontrado en la determinación de cloruros que fueron reprobados en ppm, indica la cantidad de cloruros en miligramos por litro de agua. Por lo tanto, los valores reportados de 518.4 ppm en el pozo artesiano de Juliaca, Puno, Perú, y de 7.4 ppm en el pozo artesiano de San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala, indican que el agua en el pozo de Juliana tiene una concentración mucho mayor de cloruros que el agua del pozo de San Sebastián.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que el límite máximo permisible de cloruros en el agua potable es de 250 ppm. En base a esta recomendación, el agua del pozo artesiano de Juliana no sería adecuada para consumo humano sin tratamiento adicional para reducir los niveles de cloruros (Organización Mundial de la salud (OMS), 2011). El agua del pozo artesiano de San Sebastián, por otro lado, estaría dentro de los límites permisibles con los indicado por la Organización Mundial de la salud y la Norma guatemalteca COGUANOR NGT 29001 (Tucuru Robles Roxana, 2018).

Es importante tener en cuenta que las concentraciones de cloruros pueden variar según la ubicación y la fuente del agua. Los cloruros son un compuesto químico común que se encuentra naturalmente en la tierra y en las rocas, y también pueden ser introducidos en el agua a través de la actividad humana, como la aplicación de sales de deshielo o la eliminación inadecuada de desechos. Por lo tanto, es posible que los pozos artesianos de Juliana y San Sebastián tengan diferentes fuentes de agua y hayan sido afectados de manera diferente por actividades humanas en la zona.

Determinación de Dureza Total (mg CaCO₃/L)

La dureza del agua en los pozos de las viviendas del Cantón Pucá San Sebastián Retalhuleu obtenida en este estudio alcanzó valores como promedio 89.3 ppm. Tal como se observa en la figura 15.

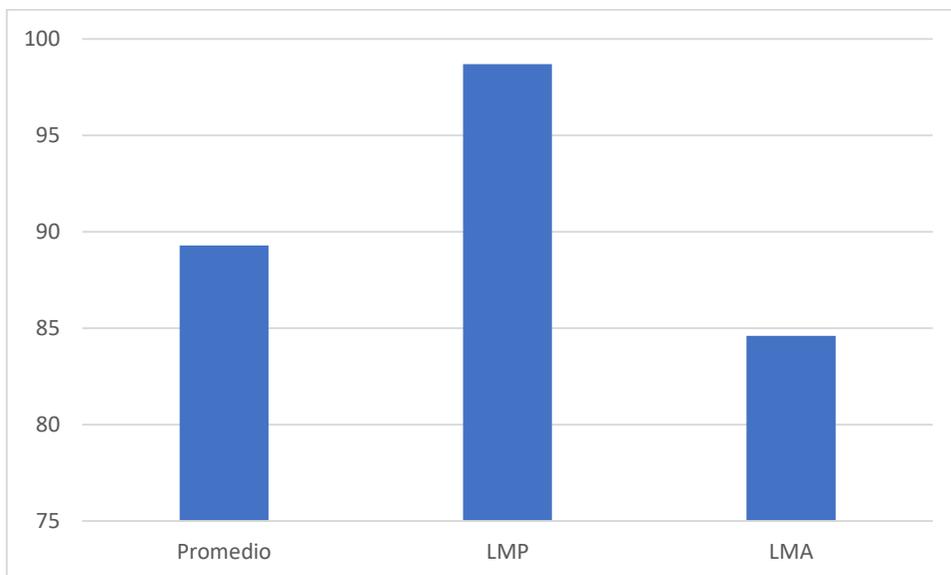


Figura 15. *Dureza Total del agua de pozos artesanales del Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu*

Tomado de: elaboración propia con datos obtenidos de los análisis de laboratorio Donde se indica que la dureza del agua de los pozos muestreados se encuentra por debajo de los límites permisibles y aceptados por la normativa guatemalteca, sin embargo, se debe mencionar que el promedio reportado de los análisis del agua se encuentra cerca de alcanzar el límite máximo aceptado.

El agua de pozos es frecuente que tengan una cantidad considerable de minerales, debido a tipo de suelos volcánicos y muchas veces hay rocas que van diluyendo su composición química que muchas veces son sales fosfóricas y cálcicas. (Ortigoza Cáceres Nilsa Concepción, 2018, págs. 6-14)

Los datos encontrados en el presente trabajo, aunque son bajos con relación al estudio llevado a cabo por Girón y Girón (2011) en la ciudad de Chiquimula, y indican que ninguno de los datos obtenidos presentan valores por encima de los límites máximo permisible (250 ppm de CaCO_3) ya que la concentración promedio fue de 89.3 ppm en este estudio y el realizado por Girón y Girón (2011) el promedio fue de 276.7 ppm de CaCO_3 , lo que evidencia, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), la clasificación del promedio encontrado en ambos estudios son aguas moderadamente dura en el caso de los pozos artesanales de San Sebastián Retalhuleu por estar cerca de los límites máximo permisible y también puede

considerarse de misma manera la de la ciudad de Chiquimula que aunque rebasa dicho límite todavía no puede considerarse como agua dura.

En ninguno de los muestreos, los pozos analizados presentaron valores por encima del Límite Máximo Permisible (500 mg/L CaCO₃) y pese a que la concentración promedio de CaCO₃ en mg/L fue de 276.7, se registró un valor máximo de 443.52 mg/L CaCO₃ en el pozo P03 durante el primer muestreo, valor que se encuentra cercano al L.M.P.. Con relación al Límite Máximo Aceptable, todos los pozos sobrepasaron la concentración máxima de 100 mg/L CaCO₃, sin embargo esto representa un problema de palatabilidad más que de riesgo salubre.

Geográficamente, el comportamiento de la dureza del agua en los pozos analizados es semejante al de la conductividad; en el Mapa 3 se observan las similitudes en pozos como el P03, P08, P09, P17 y P18, a partir de lo cual puede inferirse que existen sales disueltas en el agua.

Análisis de Sulfatos (ppm)

Como se ha documentado en diversas fuentes bibliográficas, los sulfatos son abundantes en las aguas naturales, y su presencia suele detectarse en un amplio rango de concentraciones en las aguas de lluvia. La información obtenida a partir de la medición de sulfatos resulta de gran importancia para el monitoreo y la evaluación de la calidad del agua, especialmente en lo que respecta a la contaminación (Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Agua y Saneamiento*.

Los índices promedio encontrados en las muestras de agua de pozo de Cantón Puca, San Sebastián Retalhuleu, se muestran en la figura 16.

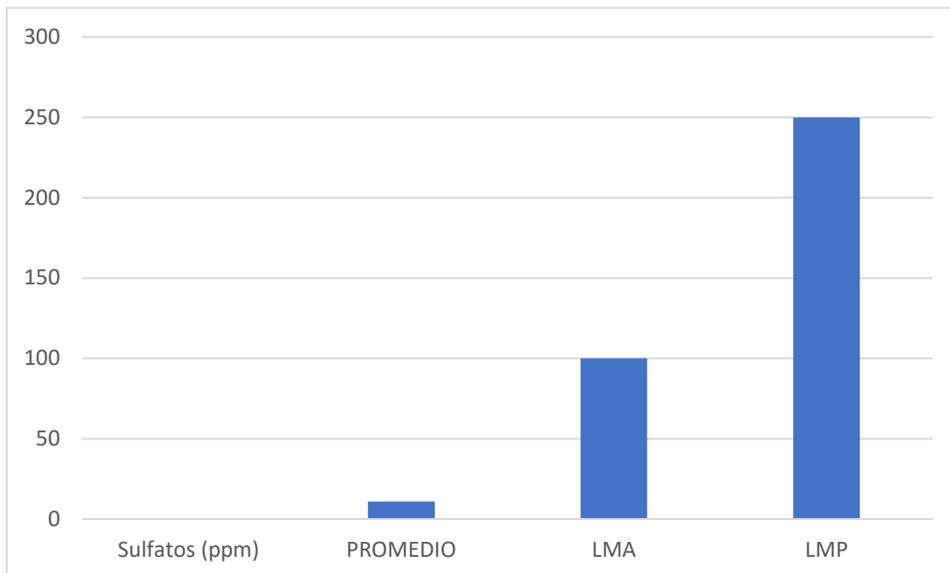


Figura 16. *Contenido de Sulfatos (ppm) en pozos artesianos o artesanales del Cantón Pucá, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala*

Tomado de: elaboración propia con datos obtenidos de los análisis de laboratorio.

La Norma NGT COGUANOR 29001 establece un límite máximo aceptado de 100 ppm y límite máximo permisible de 250 ppm, el promedio obtenido de los diferentes pozos muestreado fue de 11 ppm, límite que se considera baja en relación con el mantenimiento que le dan los pozos artesanales, ver anexo 3.

Determinación de Hierro total (Fe)

Según los datos geológicos, hay capas que contienen mucho hierro en parte del acuífero del Cretáceo y el acuífero del Terciario (Agencia Japonesa de Cooperación Internacional -JICA-, 2011, págs. 6-14). Una concentración alta de hierro en el agua puede causar que las aguas se tornen rojas y de olor metálico y modificar su sabor, aunque no represente un peligro para la salud, de igual manera origina problemas de acumulación en tuberías.

Los resultados obtenidos en la investigación se presentan en la figura 17.

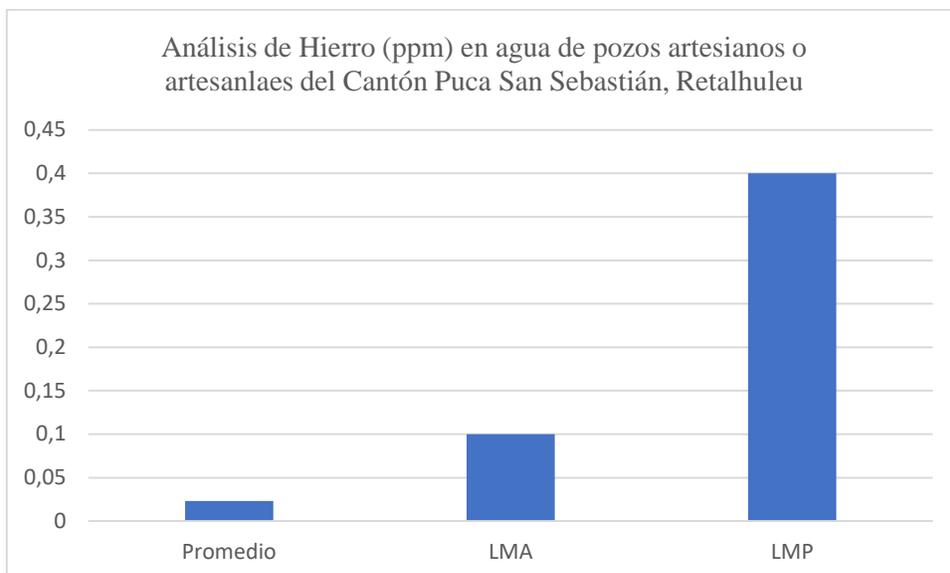


Figura 17. *Análisis de Hierro (ppm) en agua de pozos artesianos o artesanales del Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu*

Tomado de: elaboración propia con datos obtenidos de los análisis de laboratorio.

La Norma NGT COGUANOR 29001 y el RTCA exige un límite máximo aceptado de 0.3 y el promedio obtenido de los diferentes pozos muestreado fue de 0.01ppm, este nivel tan bajo puede atribuirse a factores geológicos, puesto que la mayoría de suelos del Cantón Pucá son de origen volcánico. (Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001, s.f.)

El hierro y el manganeso pueden darle al agua un sabor, olor y color indeseable. El hierro causa manchas rojizos-cafés en la ropa, porcelana, platos, utensilios, vasos, lavaplatos, accesorios de plomería y concreto. El manganeso causa manchas cafés negras en los mismos materiales. Los detergentes no remueven estas manchas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura--FAO-, 2017) .

Los datos encontrados en los pozos de Cantón Pucá de San Sebastián Retalhuleu, difieren a los obtenidos en el acuífero Patiño en pozos profundos de la zona de luque.

Los resultados obtenidos en el estudio de la concentración de contaminantes en el agua de San Sebastián Retalhuleu y en el acuífero Patiño de la zona de Luque de la república de Paraguay pues este último estudio muestran una gran diferencia en la concentración de hierro que fue de 0.554 ppm en relación a los encontrados en el Canton Pucá San Sebastián,

Retalhuleu lo que indica que los niveles de este mineral son bajos y el agua puede considerarse como agua potable apta para consumo humano. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cualquier nivel de contaminación en el agua puede tener efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, por lo que siempre se debe buscar reducir la contaminación al mínimo posible.

Por otro lado, en el acuífero Patiño de la zona de Luque se encontró una concentración de 0.554 ppm, lo que indica una concentración significativamente mayor de este mineral. Esto puede ser preocupante para la salud humana y el medio ambiente, ya que niveles altos de contaminación pueden tener efectos negativos en la salud, incluyendo enfermedades del sistema nervioso, del riñón y del hígado, entre otros.

Es importante indicar que en el caso del acuífero Patiño de la zona de Luque que se realicen medidas de mitigación y control de la contaminación en el para reducir los niveles de contaminantes y garantizar la seguridad del agua para el consumo humano y el medio ambiente en general (Ortigoza Cáceres Nilsa Concepción, 2018, págs. 99-108)

También es importante monitorear continuamente la calidad del agua en ambas áreas para asegurarse de que se mantengan dentro de los límites aceptables.

Enfoque una Salud y su discusión

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la implementación del enfoque de Una Salud puede tener un impacto significativo en la calidad del agua de los pozos artesanales. Se observó que los pozos que estaban ubicados en áreas donde se implementó este enfoque, presentaron una disminución en la presencia de contaminantes y una mejora en la calidad del agua en comparación con aquellos pozos que no estaban ubicados en áreas donde se implementó el enfoque.

Uno de los principales objetivos del enfoque de Una Salud es abordar los problemas de salud de manera integral, considerando la interrelación entre la salud humana, la salud animal y la salud ambiental. En este estudio, se abordó específicamente el problema de la contaminación del agua en los pozos artesanales y se trabajó en colaboración con las comunidades locales y los dueños de los pozos para mejorar la calidad del agua.

Los resultados sugieren que la implementación del enfoque de Una Salud en esta área específica fue efectiva para mejorar la calidad del agua. La presencia de contaminantes como el coliforme fecal y los nitratos disminuyó significativamente en los pozos ubicados en áreas donde se implementó el enfoque, lo que sugiere una disminución en el riesgo de enfermedades relacionadas con la contaminación del agua.

Es importante destacar que la implementación del enfoque de Una Salud también tuvo un impacto positivo en la percepción de los dueños de los pozos sobre la calidad del agua. En las encuestas realizadas, los dueños de los pozos ubicados en áreas donde se implementó el enfoque reportaron una mayor confianza en la calidad de su agua y una mayor conciencia sobre la importancia de mantener los pozos en buen estado.

Conclusiones

Se concluye que:

1. El 68.25% de los pozos muestreados en el Cantón Pucá San Sebastián, Retalhuleu tiene más de 10 años de haberlos construido.
2. El 61.90% de los pozos muestreados no reciben tratamiento y solo el 38.09% de los mismos le aplican cloro a los mismos anualmente.
3. El 49.20% de los pozos del presente estudio son utilizados para consumo directo y el 30.16%, utiliza el agua de pozo para lavado de alimentos y hortalizas de hoja, mientras que el 20.64% lo utilizan para aseo personal.
4. Las muestras tomadas en las diferentes calles del Cantón Puca, el 12.58% presentaron contaminación por coliformes totales y 1.7% a *Escherichia coli*, por encima del valor recomendado por la Norma Coguanor 29001.
5. De los pozos muestreados el 85.72% cumplen con todos los límites permisibles y admitidos por la normativa guatemalteca(indicar de cuáles).
6. En relación con el crecimiento bacteriano en UFC/100 ml en promedio para las muestras de agua fue de 43UFC para *coliformes totales* y 50 para *Escherichia coli*.
7. Todas las muestras enviadas a laboratorio resultaron negativas de crecimiento de *Pseudomona aeruginosa* (0%)
8. En cuanto a olor y turbiedad todas las muestras analizadas en el laboratorio reúnen las características exigidas por la normativa Coguanor 29001. Los valores reportados indican que en promedio para olor fue de 0.1 unidades y para turbidez 0.3 unidades.
Siendo menores los exigidos por la normativa.
9. Los niveles de cloro libre residual se presentaron niveles menores a 0.05 ppm de cloro libre (<0.05ppm), estableciéndose que la concentración de cloro libre es menor a lo reportado en la norma COGUANOR 29001.
10. Las concentraciones de calcio, magnesio y manganeso no sobrepasaron los valores admisibles y permitidos por la normativa en estudio, pues los valores detectados en las pruebas de laboratorio reportan niveles por debajo de estos parámetros, siendo de 37ppm, para calcio, 14 ppm para magnesio y 0.023 para Manganeso, presentando una relación de 2 a 1.

11. Los niveles de cloruros presentados en este estudio reportaron niveles de 7.4 ppm siendo menores a los exigidos por la Norma NOG 29001, puesto que acepta límites máximos hasta de 100 ppm y 250 ppm de límite máximo admisible.
12. Los sulfatos en relación con el mantenimiento o tratamiento del agua subterránea de los pozos muestreados de acuerdo a la norma Coguanor debe de tener un límite aceptado de 100 ppm y de 250 ppm para límite máximo permisible, siendo menor el resultado reportado por los análisis de laboratorio que estableció 11 ppm.
13. El 100 % de los pozos estudiados presentaron concentraciones de hierro que no sobrepasan los valores exigidos por la Norma COGUANOR NGO 29001.
14. Los resultados obtenidos de dureza del agua, el 100% fue de 89.3 ppm está por debajo de los límites permisibles y admisibles de la Norma COGUANOR NGO 290001.
15. Mejorar los sistemas de “Una Salud” a través del fortalecimiento de las contribuciones a dicho enfoque y a la biodiversidad, así como a sus servicios en materia de ecosistemas, salud medioambiental, suelo o tierra, agua, inocuidad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios.
16. Los resultados de este estudio sugieren que la implementación del enfoque de Una Salud puede ser una estrategia efectiva para mejorar la calidad del agua en pozos artesanales, considerando la interrelación entre la salud humana, la salud animal y la salud ambiental para mejorar de la calidad de vida de las comunidades locales.

Recomendaciones

1. El problema de contaminación bacteriana es un problema que da en baja cantidad de pozos del cantón Pucá San Sebastián Retalhuleu, por lo que se recomienda medir la calidad microbiológica del agua de los pozos al menos una vez por semana en época de verano para garantizarla para uso humano.
2. Llevar a cabo talleres coordinados con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social sobre desinfección del agua con cloro para mantener un nivel de cloro residual que garantice la calidad del agua, sobre todo en los pozos que se encuentran contaminados por microorganismos patógenos de enfermedades transmitidas por los alimentos y evitar los problemas de hipercloración.
3. Se debe reforzar la capacitación de los pobladores en tema de Una Salud y BPM con respecto al manejo y uso del agua.
4. En caso de pozos contaminados con bacterias entéricas realizar chequeos diarios hasta estar seguros que el proceso de cloración está funcionando adecuadamente para poder darle uso en cualquiera de las actividades de uso diario.
5. Llevar a cabo un estudio de igual naturaleza en la época de invierno o lluviosa.
6. Se debe aprovechar la educación ambiental para dar cabida al enfoque “Una Salud” puesto que es fundamental para abordar la desigualdad en el acceso de agua de calidad para evitar enfermedades transmitidas por los alimentos.
7. En términos de cumplimiento de los ODS es importante comprender mejorar los retos a los cuales nos enfrentamos (cambio climático y crecimiento demográfico) las autoridades municipales deben de gestionar ante las autoridades del Ministerio de Salud y Asistencia Pública el constante monitoreo de la calidad de agua de pozos artesanales, mientras introducen agua potable.
8. Se debe facilitar la preparación y respuesta de emergencia efectivas para la adopción de medidas preventivas frente a emergencias relacionadas con la cadena de la calidad de agua de pozos artesanales, velando por problemas de inocuidad y otros aspectos relacionados en la interrelación entre seres humanos, animales, plantas y ecosistemas.
9. Se sugiere medir en campo la conductividad del agua de pozos para estimar la dureza total y la dureza de calcio. En aquellos casos que lo ameriten, los resultados deberán ser ratificados con las técnicas analíticas correspondientes.

10. Las autoridades municipales deben de exigir o crear un proyecto de mejoramiento de las condiciones físicas de las instalaciones actuales de los pozos con el fin de garantizar el enfoque uUa Salud.
11. Implementar un programa de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua de los pozos del Cantón Pucá, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala, con el fin de verificar si el agua es apta para consumo humano.
12. Fomentar una mayor colaboración interdisciplinaria entre los profesionales de la salud, los profesionales ambientales, los veterinarios y otros profesiones relevantes. Los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social, y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, así como también las organizaciones sin fines de lucro y los grupos comunitarios pueden desempeñar un papel importante en la facilitación de estos esfuerzos de colaboración.
13. Promover la educación y la conciencia pública sobre la interconexión entre la salud humana, animal y ambiental. Esto puede ayudar a aumentar la comprensión y el apoyo a los enfoques de salud integral, fomentar la participación de la comunidad y generar cambios positivos en la salud y el bienestar general.

Propuesta Estratégica

En el presente trabajo de investigación, se detectó que el 84.13% de los pozos muestreados es agua que reúne los parámetros técnicos exigidos por la Norma COGUANOR NOG 29001 el 14.73% de los mismo se encuentra contaminados con Coliformes Totales y *Escherichia coli*.

En la encuesta a los pobladores que se obtuvo información que la mayoría de pozos tienen más de diez años de construcción. Para atender mejor a los pobladores a los cuales se les detectó contaminación bacteriana que hace un agua no apta para consumo humano ni lavado de hortalizas como chipilín y hierba mora, se planteó la presente propuesta con el fin de que puedan hacer un uso adecuado del agua a través de un tratamiento a dichos pozos. (Mejorar redacción)

La propuesta presenta una serie de opciones, con la posibilidad de buscar opciones que conlleven a hacer uso de agua apta para consumo humano.

Para ofrecer solución a la problemática de contaminación y a la prevención de esta se plantea lo siguiente:

Capacitación de los pobladores en tema de Una Salud y BPM con respecto al uso y manejo del agua

Identificado en la investigación el problema de la calidad del agua, es esencial lograr progresos en el tema de la calidad de vida y en este sentido el tema “Una Salud” debe de implementarse en los pobladores para que comprendan la necesidad de anticiparse, prevenir detectar y controlar las enfermedades que se propagan entre los animales y los seres humanos para asegurar la calidad del agua de consumo, y prevenir que el cuidado del agua para consumo sea una amenaza para ambos relacionadas con el ambiente y combatir muchos desafíos.

En este sentido el enfoque “Una Salud” resulta de importancia para la consecución del ODS 6 “Agua limpia y Saneamiento” el objetivo de esta capacitación es proteger los medios de vida de los comunitarios ante el efecto de enfermedades transmitidas por los alimentos. En ese sentido el “enfoque Una Salud” también persigue aumentar la sostenibilidad de los pozos

y resiliencia de pobladores con el fin evitar las ETAS, y comenzar a tener la visión de trabajar unidos por “Una Salud”.

Donde llevar a cabo la capacitación sobre calidad del agua

Tener acceso a agua de calidad conlleva a aplicar el enfoque Una Salud con el objeto de que mientras se tiene acceso al agua potable, el aseo, la higiene y la interrelación del complejo planta, animal, ser humano, sirva para proporcionar una vida más saludable. Por tanto, para llevar a cabo un programa de capacitación es necesario contar con la cooperación de funcionarios de salud pública con el fin de ayudar a abordar los problemas de enfermedades transmitidas por los alimentos, ya que el fin del enfoque Una Salud es ayudar a abordar los problemas de salud y sus impactos sociales económicos y ambientales

Por tanto, el programa de capacitación sobre el enfoque Una Salud debe utilizarse para garantizar la calidad del agua de pozos artesanales debe orientarse en las siguientes instancias:

Escuelas públicas Uno de los aspectos de importancia que tiene la presente propuesta es aprovechar la educación ambiental para dar cabida al enfoque “Una Salud” puesto que es fundamental para abordar la desigualdad en el acceso de agua de calidad para evitar enfermedades transmitidas por los alimentos.

Se debe empezar en escuelas públicas; puesto educar a niños se centrará en que comprendan que la naturaleza es compleja y multidimensional del ambiente y su evolución en el tiempo, así como la interdependencia del enfoque Una Salud con las actividades de desarrollo, económico, social, cultural y ambiental. Por supuesto con la educación ambiental se espera también fortalecer las capacidades técnicas del capital humano enfocadas para la adaptación y mitigación al cambio climático y acceso al agua limpia y saneamiento.

En este sentido alumnos tienen el derecho a tener acceso a agua limpia, aseo básico y buenas prácticas de higiene no solo para favorecer su desarrollo, sino que también proporcionar un comienzo más saludable.

¿Qué enseñar a Alumnos?:

En la temática a desarrollar en el enfoque Una Salud, la educación ambiental permite investigar e involucrarse en la resolución de problemas y poder mejorar la calidad del agua de los pozos y tomar medidas para mejorar la interrelación entre planta, animales y humano y allí se pueda comprender decisiones informadas y responsables.

Como consecuencia los componentes a tomar en cuenta para el conocimiento del enfoque Una Salud, que debe de ir enfocada en las personas como es el de capacitar desde las escuelas y la comunidad, los temas a desarrollar son:

1. Conciencia y sensibilidad en los desafíos de como conservar y dar sostenibilidad de contar con agua de calidad, mientras las autoridades municipales los dotan de agua entubada o potable.
2. Conocimiento y entendimiento del enfoque Una Salud, sobre todo el conocimiento de Enfermedades transmitidas por agua contaminada .
3. Preocupación por contar con un ambiente que debe de mejorar o mantener la calidad del agua de pozos artesanales.
4. Habilidades para identificar y contribuir a resolver los desafíos de la calidad del agua
5. Participación en actividades que contribuyan a resolver los desafíos de la calidad del agua.
6. Llevar a cabo un programa de buenas prácticas de manufactura o de higiene para manejo de pozos artesanales, entre lo cual sobresalen las siguientes temáticas:
 - Lavado de manos
 - Tratamiento quincenal con hipoclorito de sodio a los pozos artesanales

¿Cómo asegurar la calidad del agua Bajo el enfoque Una Salud?

Uno de los aspectos de importancia en este momento es la búsqueda de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en caso particular de la presente propuesta es de gestionar agua de pozos limpia e higiénica para satisfacer las acciones de tratamiento y prevención de que puedan transmitirse por el agua. En este sentido la organización territorial del municipio está integrada por Cocodes y Comudes.

Los Cocodes en Guatemala son los Consejos Comunitarios de Desarrollo, se integra por varios sectores de una comunidad para representar a nivel social y económico. Se componen de residentes de aldeas que son los que mejor conocen la problemática y necesidades de la comunidad y de esta manera, buscan promover y realizar políticas participativas que prioricen los proyectos, planes y programas que beneficien al crecimiento de la comunidad. El trabajo que llevan a cabo identifica las mejores prácticas para mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Por otra parte, existe el Comude que es el Consejo de Desarrollo Municipal siendo el encargado de organizar y coordinar la administración pública mediante la formulación de políticas públicas de desarrollo, planes y programas presupuestarios y el impulso de la coordinación interinstitucional pública y privada.

Definidas las funciones de cada uno de los organismos políticos administrativos, se deberá de hacer conciencia de las consecuencias de la falta de agua potable, saneamiento e higienes pueden afectar a la comunidad haciéndolas más vulnerables a enfermedades transmisibles por el agua.

Los aspectos para tomar en cuenta en los diversos órganos sociopolíticos de la comunidad se proponen de la siguiente manera:

Educación en BPM para protección de los habitantes en el manejo de agua y el uso de esta para lavado de hortalizas de hoja.

Calidad del agua con enfoque “Una Salud” para integrar la correlación entre hombre-planta-animal, velando por la salud comunitaria y los recursos naturales.

Enfermedades Transmisibles por los alimentos (agua)

Con estos aspectos se espera, cubrir las prioridades del enfoque “Una Salud” como lo son los siguientes aspectos.

1. Facilitar la preparación y respuesta de emergencia efectivas para la adopción de medidas preventivas y la respuesta frente a emergencias relacionadas con la cadena de la calidad de agua de pozos artesanales, velando por problemas de inocuidad y

otros aspectos relacionados en la interrelación entre seres humanos, animales, plantas y ecosistemas.

2. Fortalecer la bioseguridad en la gestión de administración del recurso agua de pozos artesanales, que incluya la gestión de ETA, zoonosis, plagas de cultivos enfermedades exóticas, teniendo una vinculación directa con los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social y Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.
3. Aumentar la capacidad de gestión de los riesgos de la aglomeración de basura y techados y protección de los pozos con láminas de acero inoxidable o tapas de hormigón, así como evitar construir pozos cercanos a fosas sépticas, letrinas o ríos que tengan aguas residuales. Esta medida debe de ser un acuerdo municipal para apoyar las medidas de “Una Salud”, sobre todo en el sector de la cadena de la calidad del agua de pozos artesanales.
4. Fomentar la investigación, innovación y experimentación en materia de agua, higiene, cuidado y colaboración entre comunidades y gobiernos municipales para el desarrollo de nuevas soluciones para la calidad del agua de consumo humano.
5. Insistir entre comunidades y y autoridades nacionales y municipales la creación de políticas publicas que fomenten la resiliencia hídrica basadas en la innovación y alianzas.
6. Los resultados obtenidos indicaron que los pozos que estaban ubicados en áreas donde se implementó el Enfoque Una Salud, presentaron una disminución en la presencia de contaminantes y una mejora en la calidad del agua en comparación con aquellos pozos que no estaban ubicados en áreas donde se implementó el enfoque .

Anexos

Anexos 1

**UCI**Universidad para la
Cooperación Internacional**CUESTIONARIO****ANALISIS DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FIISICOQUIMICA DEL AGUA
DE POZOS ARTESANALES DEL CANTON PUCA, SAN SEBASTIAN
RETALHULEU, GUATEMALA**

INSTRUCCIONES A continuación le presentamos una serie de preguntas, por favor marque con una X la respuesta que usted considere adecuada a su situación.

1. ¿Sabe usted cuando se construyó el pozo de la casa?

Menos de 5 años: De 5 a 10 años Más de 10 años

2. ¿Se le da algún mantenimiento al pozo?

SI NO

3. ¿Cada cuánto le da mantenimiento a su pozo?

No sabe

< 5 años

5 -10 años

> 10 años

4. ¿Qué utilización le da al agua de pozo?

Consumo General

Lavado de alimentos

Aseo
personal

5. ¿Queda su pozo cerca de alguna fuente de contaminación

SI

NO

Anexo 2

Estado de mantenimiento de Pozos artesanales en Cantón Pucá San Sebastián Retalhuleu

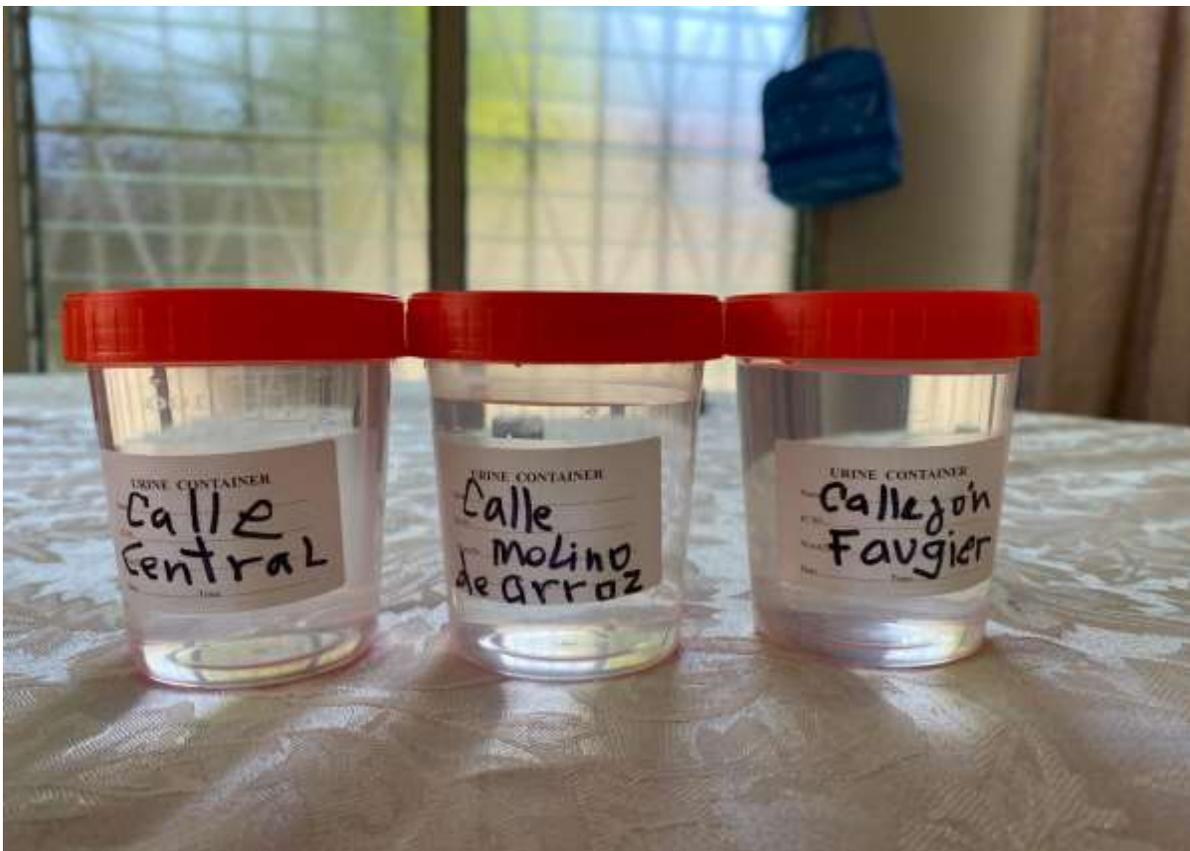
Señalar lo que se desea destacar





Anexo 3

Presentación de las de muestras para ser enviadas al Laboratorio



Anexo 4

Características físicas y Organolépticas que debe de tener el agua para consumo humano

Característica	LMA	LMP
Color	5,0 v	350 v ^(a)
Olor	No Rechazable	No Rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15.00 UNT ^(b)
Conductividad eléctrica	750 μ 5/cm	1500 μ 5 cm ^(d)
Potencial de Hidrógeno	7,0 – 7,5	6,5 8,8 ^{(c) (d)}
Sólidos Totales Disueltos	500,0 mg/l	100,0 mg/l

Fuente: Norma COGUANOR 290001

Anexo 5

Características químicas que debe de tener el agua de consumo humano

Característica	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro Residual libre	0,5	1,0
Cloruros (cl)	100.0	250.0
Dureza Total (CaCO ₃)	100,0	500,0
Sulfatos (SO ₄)	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Magnesio (Mg)	50,0	100
Manganeso total (Mn)	0.1	0,4
Hierro Total (Fe) ^(b)	0.3	----

Fuente: Norma COGUANOR 290001

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

Anexo 6

Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud

Substancia	LMP/mg/ml
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,30
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro	0,070
Cromo total	0,050
Mercurio	0,001
Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010
Nitratos (NO ₃)	50,0
Nitritos (NO ₂)	3,0

Fuente: Norma COGUANOR 290001

Anexo 7

Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua de consumo humano

Microorganismos	Límite Máximo Permisible
Agua para consumo directo	No deben de detectarse en 100 ml
Coliformes Totales y <i>E. Coli</i>	
Agua tratada que entra al sistema de distribución	No deben de detectarse en 100 ml
Coliformes Totales y <i>E. Coli</i>	
Agua tratada que entra al sistema de distribución	No deben de detectarse en 100 ml
Coliformes Totales y <i>E. Coli</i>	

Fuente: Norma COGUANOR 290001

Anexo 8

Clasificación de la dureza del agua en mg/l CaCO₃ de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud

Dureza (mg/l CaCO ₃)	Tipos de Agua
0-60	Blanda
61-120	Moderadamente dura
121- 180	Dura
>180	Muy dura

Fuente: PROAIN, 2020

Anexo 9

Acta (Charter) del Proyecto Final de Graduación (PFH)

**ACTA (CHARTER) DEL PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN (PFG)**

Nombre y apellidos: Edgar Roberto del Cid Chacón

Lugar de residencia: Cantón Pucá 1 San Sebastián, Retalhuleu

Institución: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario del Sur Occidente.

Cargo / puesto: Docente

Información principal y autorización del PFG	
Fecha: 25 de agosto 2022	Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua para consumo humano de pozos artesanales domiciliarios y propuesta de un plan estratégico tendientes a su mejora, en el cantón Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala.
Fecha de inicio del proyecto: 26 de agosto 2022	Fecha tentativa de finalización: 31 Marzo 2023
Tipo de PFG: (tesina / artículo): Tesina	
Objetivos del proyecto (general y específicos)	
Objetivo General	
Evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua para consumo humano de pozos artesanales domiciliarios y propuesta de un plan estratégico tendiente a su mejora en el Cantón Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala.	

Objetivos Específicos

Analizar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de los pozos artesanales domiciliarios para que los pobladores cuenten con información suficiente para la toma de decisiones acertadas para hacer buen uso y manejo del agua

Revisar los resultados del análisis del agua de los pozos artesanales domiciliarios del Cantón Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala, para la comprobación del cumplimiento de los parámetros técnicos microbiológicos y fisicoquímicos establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001- 2013 y RTCA 64.04.50:17

Evaluar la concentración de compuestos minerales que hay en los pozos artesanales domiciliarios del Cantón Pucá 1, San Sebastián Retalhuleu, Guatemala, para la determinación de la posible presencia en particular sales de calcio (Ca) y magnesio (Mg).

Descripción del producto:

En San Sebastián, Retalhuleu en el cantón Pucá 1, el crecimiento poblacional, ha incrementado la demanda de aguas subterráneas, debido a que el cantón no cuenta con acceso a agua potable entubada. Este crecimiento es responsable de posibles fuentes de contaminación provenientes de actividades agrícolas, manejo adecuado de los pozos, fosas sépticas debido a que también el cantón cuenta con redes de drenaje de aguas negras domiciliarias.

Por eso, la investigación se llevará a cabo en dicha comunidad para determinar la calidad sanitaria del agua en sus aspectos bacteriológicos y fisicoquímicos y generar información científica sobre el estado del agua de estos pozos en este cantón, para determinar la presencia de coliformes totales y *Pseudomonas aeruginosa*, ya que este es uno de los microorganismos que se analizan a la hora de evaluar la calidad del agua. Esta bacteria se encuentra en heces, suelo, agua y aguas residuales, pudiendo proliferar en ambientes acuáticos y en la superficie de materias orgánicas que se encuentran en contacto con el agua, por ser un patógeno oportunista y su presencia en el agua para consumo representa un riesgo para la salud de los habitantes, especialmente para los bebés, niños, ancianos y personas inmunocomprometidas y por lado fisicoquímico la evaluación de presencia de sales minerales como Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) que son causantes de la dureza del agua, afectando la salud pública (riñones y vesícula biliar, principalmente) y los equipos industriales como por ejemplo las tuberías de una caldera. También, se incluye la conductividad, temperatura, turbidez, pH, concentración de nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+), fosfatos (PO_4^{3-}).

Necesidad del proyecto: Debido a que existen muchos brotes de enfermedades gastrointestinales en niños y adultos, es necesario conocer la calidad del agua en sus aspectos microbiológicos y presencia de sales de calcio (Ca), magnesio (Mg), conductividad del agua, temperatura, turbidez, pH concentración de nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+), y fosfatos (PO_4^{3-}).

Justificación de impacto del proyecto:

A pesar de que el municipio de San Sebastián Retalhuleu esta rodeado de ríos, no todas las familias tienen acceso al servicio de agua potable. En el área urbana un 80% tiene acceso al vital líquido en sus hogares por medio del servicio municipal y el 35% del área rural poseen agua entubada. El resto de la población que carece de este recurso se abastece por medio o de pozos artesanales, que construyen en sus viviendas.

A pesar de contar con fuentes hídricas de extenso caudal, el problema con el servicio es la falta de captación y distribución, para hacer eficiente el servicio. Cabe mencionar que la calidad del agua no es apta para consumo humano, ya que no pasa por un proceso de saneamiento y potabilización.

El Cantón Puca 1, una comunidad donde no existe acceso al agua potable y se torna difícil su obtención en los meses de mayo a diciembre, debido a que las fuentes de las cuales se obtiene el vital líquido no es utilizada para uso tareas domésticas por el desbordamiento de los canales de conducción de este líquido se derrumban y el agua llega con residuos orgánicos como lodos. Estas causas hacen que los comunitarios procedan a utilizar agua de pozos artesanales, que pueda no tener la calidad microbiológica y fisicoquímica y cumplan con los lineamiento o parámetros establecidos en la norma COGUANOR29001 y RTCA 64.04.50:17

Por estas razones se toma como tema de Tesina (TFG) para conocer el estado actual de la calidad microbiológica del agua de pozos domiciliarios artesanales que se utilizan para diferentes tareas domésticas e informar a los comunitarios para que puedan tomar acciones para mejorar la obtención del vital líquido.

Restricciones:

Obstáculos culturales para la realización de la actividad

Que existan personas no interesadas en participar en el proyecto

Personas renuentes a recibir capacitaciones sobre educación sanitaria, ambiente y uso racional del agua.

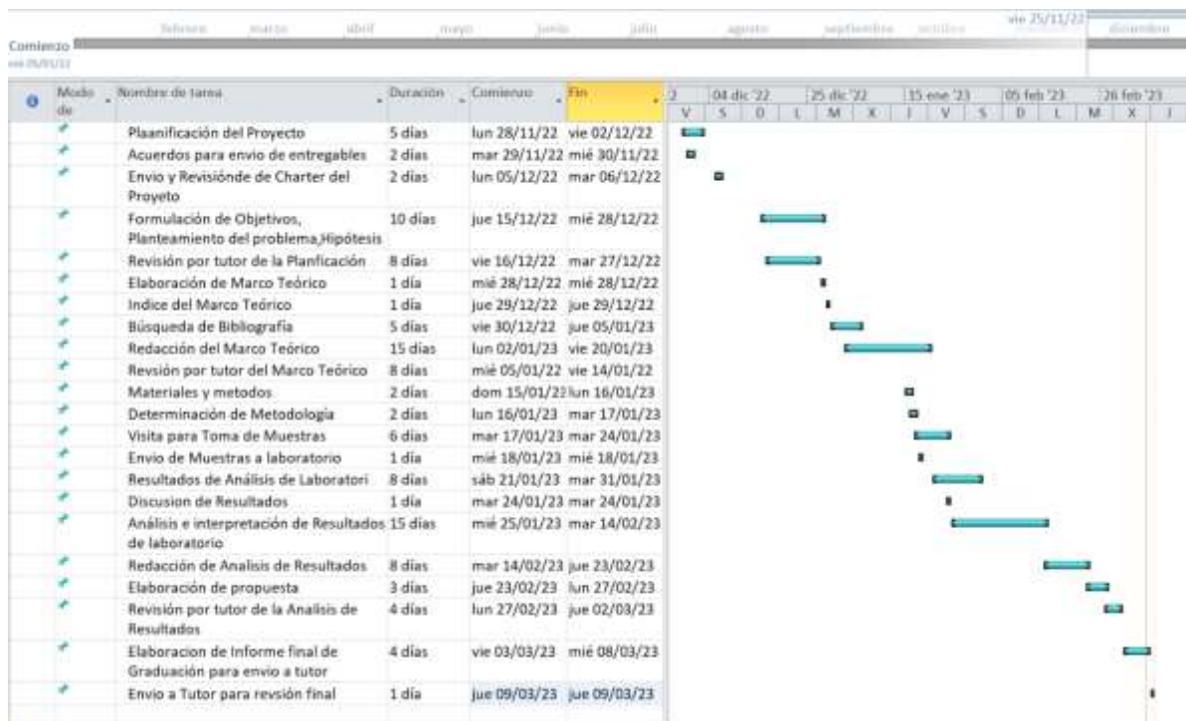
Entregables:

- Avances periódicos del desarrollo del PFG al tutor (a).
- Entrega del documento aprobado al lector (a) para su revisión y para su posterior aprobación y calificación.
- Tribunal evaluador (tutor (a) y lector(a), entregan calificación promediada

Identificación de grupos de interés: Cliente(s) directo(s): Municipalidad de San Sebastián Retalhuleu, Guatemala Cliente(s) indirecto(s): Pobladores del Canton Puca 1 de San Sebastián Retalhuleu, Guatemala.	
Aprobado por Director MIA: Félix Modesto Cañet Prades	Firma:
Aprobado por profesora Seminario Graduación: MIA. Ana Cecilia Segreda Rodríguez	Firma:
Estudiante: <i>Edgar Roberto del Cid Chacón</i>	Firma 

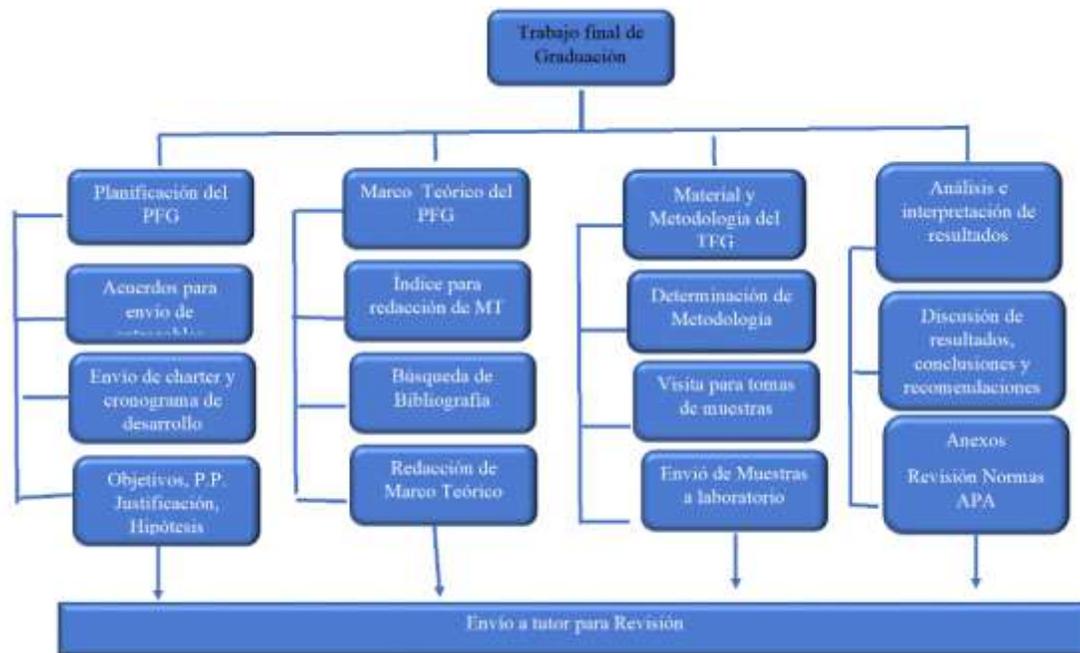
Anexo 10

Cronograma del Trabajo final de Graduación



Anexo 11

EDT o Desglose de Entregables del Trabajo Final de Graduación



Referencias

- (OMS), Organización Mundial de la Salud. (2011). [/www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950](http://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950). Obtenido de <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- Agencia Japonesa de Cooperación Internacional -JICA_. (2010). *El Estudio del Desarrollo Sostenible del Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá, Colombia*. Bogota: JICA.
- Agencia Japonesa de Cooperación Internacional -JICA-. (2011). *El estudio del desarrollo sostenible del agua subterránea en la sabána de Bogota de la República de Colombia*. JICA. Obtenido de https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11725611_08.pdf
- Apella, M., & Araujo, P. (2005). *Microbiología de agua. Conceptos básicos*. Obtenido de https://psa.es/es/unidades/tsa/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf
- Argueta López Adhemar Enrique. (2009). *Aprovechamiento del agua subterránea de los recursos hidráulicos, en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Editorial universitaria.
- Argueta López, E. A. (2009). *Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos en el campus central de la Universidad de san Carlos de Guatemala*. USAC.
- Barrenechea Martel, A. (2013). *Aspectos Fisicoquímicos de la Calidad del Agua* . Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Bellostas, A. (2 de Octubre de 2009). *Calidad del agua y su higienización : Efectos sobre la sanidad y productividad de las aves* . Obtenido de https://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/calidad_agua_higienizacion_avelina_bellostas_texto_46_symp_aeca.pdf
- Congreso de la República de Guatemala. (9 de Mayo de 2002). Código Municipal. *Decreto Número 12-2002, 76*. Guatemala, Guatemala: Congreso de la República. Obtenido de <http://www.copresam.gob.gt/wp-content/uploads/2021/01/Tesis-Economia-Julio-Toledo.pdf>

- Fernández Cirelli, A., & Du Mortier, C. (2005). *Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31367666/01_Capitulo_01-libre.pdf?1392343873=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D01_Capitulo_01.pdf&Expires=1684269322&Signature=TR8fh9RDgT32q85XDfuJ4tK6jLgTzSwHR-PQyKHTjUZU~egzCZWZINllu~muDzV-VNvF1HG4a
- Girón y Girón Dayryn Estefany. (2011). *Evaluación del mapeo de la calidad de agua y nivel freático de pozos artesanales para abastecimiento humano y su posible relación con la red hidrológica en el casco urbano de la ciudad de Chiquimula 2009*. Editorial Universitaria.
- González Oscar, Aguirre Javier, Saugar, Gema, Orozco Lylii, Palacios Karen, , Guevara Octavio. (2007). Diagnóstico de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural. *niversitas*,, 1(1), 7-13.
- Google Earth. (2022). *Google Earth*.
- Guzmán Barragán, B., Días Bevilacqua, P., & Nava Tovar, G. (2015). Contextos locales de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano: Brasil y Colombia. 17(6), 961-972. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/65647/40977-284116-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández Viquez Claudia. (2016). *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora, en la comuidad 4 millas de Mantina Limón*. Uniersitaria.
- Iberdrola. (s.f.). *Contamianción del Agua*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua>
- Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (IARNA). (22 de Marzo de 2021). *Ensayos y análisis sobre el agua en Guatemala* . Obtenido de <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2022/02/Boletin-agua-2-edicion-2022-Final.pdf>

- Instituto Nacional de Estadística Guatemala. (Diciembre de 2019). *XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda*. Obtenido de https://www.censopoblacion.gt/archivos/resultados_censo2018.pdf
- López Lemus Uriel Alejandro. (2006). *Estudio sobre la calidad del agua de pozos artesianos del municipio de Colima con algunos parámetros fisicoquímicos*. Instituto Tecnológico de Colima.
- Mira Johri, Marie-Pierre Sylvestre, Georges Karna Koné, Dinesh Chandra, S. V. Subramanian. (2019). Effects of improved drinking water quality on early childhood growth in rural Uttar Pradesh, India: A propensity-score analysis. *PLOS ONE*, 1(14). Obtenido de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209054>
- Montes de Oca Martínez, J. J. (2009). *Diagnóstico de la calidad de agua de pozos excavados en tres comunidades del valle de Yeguaré, Honduras*.
- Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001. (s.f.). *Agua para consumo (agua potable). Especificaciones*. Obtenido de http://ide.segeplan.gob.gt/ranking/ranking_portal/documentos/municipiosaludable/coguanor-ntg-29-001.pdf
- Nuhu Ismaila; Issah Baddianaah; Nicholas Fielmua; Sophia Dimah Nandzo; Fauzi Rahman Salifu ... (Volumen 13). Condition of water, sanitation and hygiene (WaSH) in Ghana's basic schools: Empirical evidence from Wa municipality. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 13(3). Obtenido de <https://iwaponline.com/washdev/issue/13/3>
- Organización de las Naciones Unidas. (2022). www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura--FAO-. (2017). www.fao.org/one-health/es/. Obtenido de <https://www.fao.org/one-health/es/>

- Organización Mundial de la salud (OMS). (2011). www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950. Obtenido de <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- Organización Munidal de la Salud. (2016). www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Ortigoza Cáceres Nilsa Concepción. (2018). Estudio del grado de contaminación por hierro en el acuífero Patiño en pozos profundos de la zona de Luque. *Facen*, 9(2). Obtenido de http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2222-145X2018000200099
- Rodríguez Zamora Johel. (, 2009). Parametros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones administradoras del Acueducto (ASADAS), de cada distrito de Grecia, Cantón de Alajuelas, noviembre. *Revista Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica, Vol. 9,(No. 12-13,)*, 125 - 134. Obtenido de <file:///C:/Users/delci/Downloads/2842-Texto%20del%20art%C3%ADculo-4409-1-10-20121108.pdf>
- Rodríguez, M. (Noviembre de 2012). *Geografías del municipio de San Sebastián, Retalhuleu*. Obtenido de <https://www.deguate.com/departamentos/retalhuleu/geografia-del-municipio-de-san-sebastian-retalhuleu/>
- Tacuri Flores Roxana. (2018). *Determinación de la calidad de agua de pozos artesianos y sus aspectos ambientales* “. Título de Magister, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA Universidad Nacional de San Agustín Arequipa.
- The Lancet. (2021). The Lancet Commission on water, sanitation and hygiene,. *The Lancet*, 398, 1469-1470.
- Torres Juárez, M. (2018). *DIAGNÓSTICO SOCIOECONÓMICO, POTENCIALIDADES PRODUCTIVAS Y RESUMEN DE PROPUESTAS DE INVERSIÓN*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0960_v2.pdf

Tucuru Robles Roxana. (2018). *Determinación de la calidad de agua en pozos artesianos y sus aspectos ambientales asociados*, Juliaca Puno, 2018. Univrisataria.

Weather Spark. (s.f). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en San Sebastián*.
Obtenido de <https://es.weatherspark.com/s/11145/0/Tiempo-promedio-en-la-primavera-en-San-Sebasti%C3%A1n-Guatemala#>