



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL
PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA EN POZOS MUNICIPALES DE LA
CABECERA DE VILLA CANALES**

Joel Fernando Zamora Meletz

Asesorado por el M.A. Ing. Obdulio Boanerges Cotuc Santizo

Guatemala, noviembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL
PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA EN POZOS MUNICIPALES DE LA
CABECERA DE VILLA CANALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOEL FERNANDO ZAMORA MELETZ

ASESORADO POR EL M.A. ING. OBDULIO BOANERGES COTUC SANTIZO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	Inga Mayra Saadeth Arreaza Martínez
SECRETARIO	Inga Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA EN POZOS MUNICIPALES DE LA CABECERA DE VILLA CANALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 19 de febrero del año 2022.

Joel Fernando Zamora Meletz



EPPFI-

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú

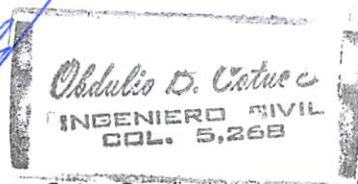
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE DESINFECCION DEL AGUA EN POZOS MUNICIPALES DE LA CABECERA DE VILLA CANALES**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Servicios públicos municipales - Propuesta de mejoramiento de los servicios públicos municipales**, presentado por el estudiante **Joel Fernando Zamora Meletz** carné número **200113114**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería Para El Desarrollo Municipal.

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

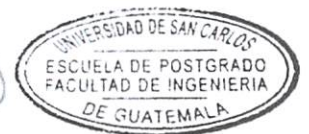
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Obdulio Boanerges Cotuc Santizo
Asesor(a)

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



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





EEP-EIMI-0103-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE DESINFECCION DEL AGUA EN POZOS MUNICIPALES DE LA CABECERA DE VILLA CANALES**, presentado por el estudiante universitario **Joel Fernando Zamora Meletz**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.757.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA EN POZOS MUNICIPALES DE LA CABECERA DE VILLA CANALES**, presentado por: **Joel Fernando Zamora Meletz**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el creador de todo, ya que sin Él nada existe, gracias por permitirme la dicha de la vida y de poder lograr esta gran meta.
Mis padres	Héctor Cándido Zamora Ortíz y Ana María Meletz Paredes, por brindarme su ejemplo de lucha, sus enseñanzas, consejos y, sobre todo, su amor incondicional.
Mi esposa	Nuria Elizabeth Borrayo Peralta, por ser parte fundamental en el éxito alcanzado, y por el amor y comprensión brindados.
Mi hijo	José Andrés Zamora Borrayo, por ser mi motivación y fortaleza.
Mis catedráticos	Por sus enseñanzas y consejos.
Mi asesor	Por su confianza y apoyo en este objetivo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma mater</i> que inculcó en mí la responsabilidad, el trabajo y la dedicación.
Facultad de Ingeniería	Por proveerme del conocimiento a lo largo de mi carrera universitaria y, sobre todo, por darme la oportunidad de ser un gran profesional.
Municipalidad de Villa Canales	En especial al señor alcalde Ing. Julio Daniel Marroquín Ordoñez, quien me brindó el apoyo necesario para desarrollar mi tesis en tan prestigiosa institución pública a su cargo.
Mi asesor	Por haberme acompañado durante la carrera.
Familia y amigos en general	Por todo su apoyo en los momentos que más los necesite. Ahí estuvieron dándome ánimos para alcanzar la meta deseada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General	13
5.2. Específicos.....	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO	17
7.1. Calidad del agua	17
7.1.1. Calidad microbiológica.....	17
7.1.2. Calidad química del agua	17
7.1.3. Agua potable	18

7.2.	Características físicas y organolépticas del agua para consumo humano.....	18
7.3.	Características químicas del agua para consumo humano	19
7.4.	Características microbiológicas	22
7.5.	Indicadores bacteriológicos	22
7.6.	Contaminación del agua	23
7.6.1.	Contaminación de origen biológico	25
7.6.2.	Contaminación de origen químico	26
7.6.3.	Importancia de la desinfección del agua	26
7.6.4.	Vigilancia del sistema de abastecimiento de agua	27
7.7.	La prestación del servicio de agua potable en Guatemala	27
7.8.	Tipos de servicio de agua potable	28
7.8.1.	Servicio de agua potable por gravedad.....	28
7.8.2.	Servicio de agua potable por bombeo.....	29
7.9.	Componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable.....	29
7.9.1.	Pozo mecánico.....	30
7.9.2.	Sistema de desinfección	31
7.9.3.	Línea de conducción	32
7.9.4.	Almacenamiento/tanque de distribución.....	32
7.9.5.	Líneas de distribución	32
7.10.	Desinfección	33
7.10.1.	Proceso y características de la desinfección.....	33
7.10.2.	Agentes desinfectantes	34
7.10.3.	Tipos de desinfección.....	36
7.10.3.1.	Desinfección con ozono.....	36
7.10.3.2.	Desinfección con rayos UV.....	37
7.10.3.3.	Desinfección con hipoclorito de calcio	38
7.10.3.4.	Desinfección con gas cloro	40

	7.10.3.5.	Desinfección con hipoclorito de sodio....	40
7.11.		Sistema de desinfección con hipoclorito de sodio.....	41
	7.11.1.	Componentes de un sistema de desinfección con hipoclorito de sodio.....	42
	7.11.2.	Dosificadores.....	43
	7.11.3.	Funcionamiento de los dosificadores de hipoclorito de sodio.....	44
7.12.		Enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada....	46
7.13.		Marco legal	46
	7.13.1.	Constitución Política de República de Guatemala.....	46
	7.13.2.	Código Municipal	47
	7.13.3.	Código de Salud.....	48
	7.13.4.	Reglamento de Normas Sanitarias para la Administración, Construcción, Operación y Mantenimiento de los Servicios de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano	48
	7.13.5.	Reglamento para la Certificación de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Proyectos de Abastecimiento	49
	7.13.6.	Manual de Normas Sanitarias que establecen los procesos y métodos de Purificación de Agua para Consumo Humano.....	49
	7.13.7.	Normas COGUANOR NTG29001	49
7.14.		Capacitación	50
	7.14.1.	Tipos de capacitación.....	50
		7.14.1.1. Capacitación teórica	51
		7.14.1.2. Capacitación práctica.....	51
	7.14.2.	Métodos de capacitación.....	52
	7.14.3.	Material didáctico para capacitación.....	53

8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	55
9.	METODOLOGÍA.....	59
9.1.	Tipo de estudio	59
9.2.	Fases del estudio.....	59
9.2.1.	Fase 1: referencias bibliográficas.....	59
9.2.2.	Métodos y técnicas para la obtención de la fase de investigación	60
9.2.2.1.	Etapa 1: lista de verificación de las características actuales de los sistemas de desinfección.....	60
9.2.2.2.	Etapa 2: entrevista el fontanero	61
9.2.2.3.	Caracterización de la calidad del agua de la cabecera municipal	62
9.2.2.3.1.	Preparaciones preliminares	63
9.2.2.3.2.	Procedimiento de toma de muestra	63
9.2.2.3.3.	Pasos para la medición del cloro residual. después del tanque de almacenamiento, con medidor de cloro libre digital.....	64
9.2.3.	Fase 3: propuesta de acción para las mejoras de los sistemas de desinfección	66
9.2.4.	Fase 4: determinación de la forma correcta de capacitar al personal encargado de la cloración en	

	los pozos municipales de la cabecera del municipio de Villa Canales.....	67
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	69
11.	CRONOGRAMA.....	71
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	73
13.	REFERENCIAS.....	75
14.	APÉNDICE.....	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Contaminación del agua con desechos sólidos.....	24
2.	Contaminación de fuentes de agua con aguas residuales	24
3.	Contaminación de origen biológico	26
4.	Componentes de un sistema de agua potable	30
5.	Componentes de un pozo mecánico	31
6.	Depósitos de hipoclorito de sodio.....	34
7.	Cilindros de gas cloro.....	35
8.	Pastillas de hipoclorito de calcio.....	35
9.	Sistema de desinfección con ozono	37
10.	Sistema de desinfección con rayos UV	38
11.	Sistema de desinfección con hipoclorito de calcio	39
12.	Sistema de desinfección con gas cloro	40
13.	Desinfección con hipoclorito de sodio	41
14.	Sistema de desinfección.....	42
15.	Clorinadores de hipoclorito de calcio.....	43
16.	Bomba dosificadora.....	44
17.	Bomba dosificadora de diafragma	45
18.	Bomba de inyección rotativa	45
19.	Capacitación teórica	51
20.	Capacitación práctica	52
21.	Material didáctico	53

TABLAS

I.	Características físicas y organolépticas del agua para consumo humano.....	19
II.	Características químicas que debe tener el agua para consumo humano.....	19
III.	Substancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.....	20
IV.	Substancias plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.....	20
V.	Substancias orgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.....	21
VI.	Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua	22
VII.	Etapa 1: lista de verificación de las características actuales de los sistemas de desinfección	60
VIII.	Datos para la caracterización del agua de los sistemas de agua de la cabecera municipal de Villa Canales	65
IX.	Puntos de toma de muestra para análisis de cloro residual en la red de distribución de agua potable	65
X.	Comparación de resultados de los análisis.....	66
XI.	Cronograma de actividades	71
XII.	Recursos necesarios para la investigación	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
HP	Caballos de fuerza
\$	Dólar estadounidense
E	Este
°C	Grados Celsius
°	Grados
d	Diámetro
=	Igual que
Km	Kilómetro
psi	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
>	Mayor que
<	Menor que
m	Metro
m³	Metro cúbico
m³/s	Metro cúbico por segundo
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
'	Pies o minutos
ml	Mililitros
mg	Miligramos
mg/l	Miligramo por litro
mm	Milímetro
Mo	Molibdeno
Ni	Níquel

N	Norte
O	Oeste
%	Porcentaje
P	Potencia
“	Pulgadas o segundos
Q	Quetzales
rpm	Revoluciones por minuto
S	Sur
LMA	Límite Máximo Aceptable
LMP	Límite Máximo Permisible

GLOSARIO

Abastecimiento	Toda actividad de suministrar la cantidad necesaria de agua.
Agente oxidante	Entidad química que capta electrones.
Agua potable	Agua apta para el consumo humano. Es un líquido inodoro, insípido e incoloro que se bebe sin limitaciones, pues no daña el organismo.
Calidad de agua	Condición del agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o alterada por el accionar humano.
Clorinador	Máquina automática que dosifica cloro en sus diferentes prestaciones.
Cloro residual libre	Parámetro que indica la concentración de cloro disuelto y químicamente disponible después de la cloración.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Coliformes totales	Grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del

agua y los alimentos.

Desinfección Proceso que mata microorganismos que causan infecciones, como virus o bacterias. Al producto que provoca este resultado se le llama desinfectante.

Escherichia coli (E. coli) Es la bacteria anaerobia facultativa comensal más abundante de la microbiota. También es uno de los organismos patógenos más relevantes en el hombre, tanto en la producción de infecciones gastrointestinales como de otros sistemas (urinario, sanguíneo o nervioso).

Inyector Dispositivo que abre, cierra y direcciona el flujo que esté inyectando.

Límite máximo aceptable 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 Valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para el consumo humano.

Organolépticas Cualquier propiedad de un alimento u otro producto percibido por los sentidos: sabor, color, olor y textura.

Patógeno	Elemento que origina una enfermedad.
Red de distribución	Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores de forma constante, con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades. Se consideran parte de una red de distribución: camiones cisterna y depósitos de cualquier naturaleza.
Sistema	Conjunto de cosas que, relacionadas entre sí ordenadamente, contribuyen a determinado objetivo.

RESUMEN

Proveer agua potable a la población es una competencia propia de todas las municipalidades de Guatemala. En referencia al término potable, se entiende que debe cumplir características físicas y químicas reguladas en la Norma COGUANOR NGT 29001. Cumplir con la norma garantizará no ocasionar enfermedades a quien consume el agua. Entre los procesos imprescindibles para cumplir con los parámetros establecidos está la desinfección correcta del agua, por lo tanto, se identificarán las deficiencias técnicas, administrativas y operativas cuyo resultado sea la mala desinfección del agua que se está suministrando. Una vez identificadas, se realizarán las propuestas de mejora que corrijan estas deficiencias para proveer a la población de agua correctamente desinfectada.

La presente investigación es de suma importancia, debido a que aporta elementos que ayudan a preservar la salud de la población, mediante la mejora del proceso de desinfección, analizando las actuales deficiencias para proponer mejoras e implementarlas por parte de la municipalidad de Villa Canales. Esto a su vez ayudará de forma paralela a preservar la red de distribución de agua, porque no sufrirá desgastes prematuros por exceso de cloro, simultáneamente se ahorrará significativamente en costos de mantenimiento, evitando que la economía familiar sea afectada por gastos innecesarios por consulta médica y compra de medicina, debido a una enfermedad ocasionada por presencia de bacterias en el agua.

El presente diseño de investigación busca mejorar la calidad del agua que abastece a la población, mediante la implementación de técnicas de

recopilación de datos y toma de muestras de agua, con lo que se obtendrá información necesaria para un diagnóstico inicial del proceso de desinfección. Esta información se analizará y se propondrán mejoras, nuevamente se recolectarán muestras de agua para ser analizadas y determinar la efectividad de la implementación de las propuestas realizadas.

1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, el acceso a fuentes de agua apta para el consumo humano es limitado debido a que no todas las fuentes cumplen con los parámetros establecidos en la Norma Técnica COGUANOR 29001. Entre estos parámetros se encuentran los de carácter bacteriológico, que corresponde al proceso de desinfección del agua que se abastece a los vecinos de la cabecera municipal de Villa Canales, que es responsabilidad de la municipalidad. El incorrecto proceso de desinfección del agua ocasiona que no se cumpla con el Límite Máximo Permisible (LMP) de bacterias presentes en cien mililitros de agua, por lo tanto, no cumple con el parámetro de cloro residual presente en el agua. Esto trae como consecuencia que la población que consume el agua desarrolle enfermedades gastrointestinales causadas por bacterias.

Si el agua incorrectamente desinfectada es consumida por menores de edad con algún grado de desnutrición, puede ocasionar la muerte de los mismos. Por el contrario, un alto contenido de cloro en el agua ocasiona que la población rechace el proceso de desinfección debido a que provoca un mal sabor, además, si sobrepasa el límite máximo permisible de contenido de cloro también es perjudicial para la salud. Con el presente trabajo de investigación se pretende establecer un corrector proceso de desinfección del agua, así como resaltar la importancia de realizar la desinfección de manera efectiva para evitar enfermedades que puedan ocasionar muertes de adultos o niños con un sistema inmune debilitado.

También se espera determinar la eficacia de los sistemas de desinfección del agua que se distribuye actualmente en la cabecera municipal

de Villa Canales, a través de análisis bacteriológicos y medición de cloro residual. Además, determinar las mejoras necesarias en los sistemas de desinfección y proponer métodos adecuados de capacitación al personal encargado de la desinfección del agua.

Se realizará entrevista al personal encargado de la desinfección para obtener datos sobre cómo es el proceso actual de desinfección y poder identificar deficiencias, para proponer las correcciones que sean necesarias. Se evaluarán los conocimientos teóricos y prácticos del personal en cuanto a la desinfección propiamente dicha, se harán mediciones de cloro residual en puntos estratégicos, toma de muestras para su análisis en laboratorio, y se propondrá la forma adecuada de capacitación del personal. Por último, se realizará un análisis de factibilidad de las mejoras propuestas en el proceso de desinfección.

El contenido del presente documento consta de tres capítulos. El primero aporta todo el sustento teórico necesario para sustentar el trabajo de investigación. El segundo se centra en el desarrollo de la investigación recopilando datos importantes que aportan información para la solución del problema planteado. En el tercer capítulo se analizarán los resultados obtenidos para proponer las soluciones que permitirán que los sistemas de desinfección del agua que se distribuye en la cabecera municipal de Villa Canales sean efectivos y eficientes.

2. ANTECEDENTES

En la actualidad hay variedad de trabajos referentes a la adecuada gestión del proceso de desinfección para evitar enfermedades que puedan ocasionar muertes de adultos o niños con un sistema inmune debilitado. A continuación se presentan algunos.

Morales (2017), en su tesis Mejoramiento de la calidad del agua, mediante un diseño de filtración lenta, para el casco urbano del municipio de San Rafael las Flores, Santa Rosa, menciona que “superficial que abastece el casco urbano del municipio de San Rafael las Flores, Santa Rosa. En esta tesis se trata de mejorar la calidad del agua a través de un método de filtrado del agua” (Morales, 2017, p.24).

Hace un análisis de los distintos métodos de filtración del agua y selecciona el que, según el criterio del autor de la tesis, es el método más conveniente teniendo en cuenta la capacidad económica de la población, la cual no puede optar por sistemas de filtrado más sofisticados que impliquen tener que invertir en costos de funcionamiento de la planta de filtración y purificación mediante carbón activado.

En el trabajo también se aprecia que el autor realiza una encuesta para determinar la aceptación del sistema de filtrado y purificación por parte de la población del casco urbano del municipio de San Rafael las Flores.

Morales (2017), con este trabajo de tesis, compara los análisis del agua antes y después del proceso de filtración lenta, demostrando la efectividad del

método para el mejoramiento de la calidad del agua. A través de entrevistas con personal administrativo de la municipalidad determinó que la recaudación por la prestación del servicio provoca un subsidio de hasta un 98.2 %, la población tiene percepción de que el proceso de abastecimiento de agua es malo según la muestra de la comunidad de hasta un 52 %.

Morales (2017) resalta en su trabajo que es necesario mejorarlo, como se demostró a través del experimento del filtrado lento a escala el agua, que mejoró en los aspectos físicos, químicos y bacteriológicos, recomendando la implementación del sistema de filtración de agua antes de la distribución al casco urbano de la comunidad de San Rafael Las Flores, Santa Rosa.

Arreaga (2017), en su trabajo titulado Propuesta de un plan municipal para el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable para las zonas 4, 5, y 10 del municipio de Villa Nueva, Guatemala, aborda el problema de distribución de agua potable para distintas zonas del municipio de Villa Nueva en donde el servicio es proporcionado de manera intermitente y con baja calidad de potabilización, que es el problema al cual trata de dar solución mediante su propuesta de mejora del servicio en las zonas afectadas. En el trabajo puede visualizarse una caracterización del municipio e incorpora antecedentes y cómo incide la falta de agua en la salud y la educación. Finalmente plantea un plan a seguir para dar solución al problema expuesto. (Arreaga, 2017)

El trabajo en mención establece que las zonas analizadas conforman el un cuarto del territorio villanovano, siendo la zona 4 la más densamente poblada. El agua que se consume en esta zona es producida por 18 pozos, pero la producción es insuficiente y no cubre la demanda de agua potable. Mediante análisis de costos y servicios de agua registrados en la municipalidad

establece el valor del metro cúbico de agua producido, estableciéndolo en Q5.35 / metro cúbico. (Arreaga, 2017)

El trabajo resalta que para que el servicio de agua potable sea autosostenible deben tenerse en cuenta las consecuencias que tiene en la población el no contar con un suministro de agua que cubra las necesidades básicas y cómo esto repercute en su salud. El autor propone brindar una solución al problema mediante la implementación de tres ejes de trabajo: planificación, comercialización y control, que permitan una mejor distribución del agua en las zonas afectadas. (Arreaga, 2017)

Salguero (2016), en su trabajo de investigación titulado Sistema de gestión de la calidad del agua que consume la población urbana del municipio de El Progreso, Jutiapa, basado en la metodología del plan de seguridad para calidad del agua de la OMS, expone que su trabajo de tesis hace referencia al agua que utilizan los vecinos del municipio de El Progreso, que en este caso si está en los parámetros establecidos por el ente rector en materia de salud para ser considerada agua potable.

Salguero (2016) utilizó de referencia la metodología del plan de seguridad para la calidad del agua de la OMS, describiendo el problema de acceso al agua que no cumple con los estándares de calidad desde una perspectiva a nivel mundial. Además hace énfasis en la comunidad, realiza un análisis del agua en cuanto a las características tanto físicoquímicas como bacteriológicas, evalúa cada uno de los elementos del sistema de suministro de agua, para posteriormente proponer pasos sistemáticos para elaborar un plan de seguridad del agua. (Salguero, 2016)

En el trabajo en mención se realizaron estudios comparativos de análisis físicoquímicos y bacteriológicos del agua que consumen los vecinos del municipio de El Progreso, Jutiapa, con los estándares de la norma COGUANOR 9001, determinando que sí es apta para ser consumida por los vecinos. Sin embargo, se estableció que no existe procedimientos documentados para garantizar agua potable a la población si hubiese alguna emergencia. (Salguero, 2016)

Finalmente el autor de esta tesis evalúa el proceso de suministro de agua a la población y las diferentes formas en que se pudiese contaminar, proponiendo la implementación de un Plan de Seguridad de Agua, de acuerdo con los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud, debido a que son estrategias de tipo preventivo que siempre asegurarán agua de calidad para consumo humano a la población. (Salguero, 2016)

Palma (2015) realiza un trabajo titulado Servicio de agua, saneamiento básico y su relación con los objetivos de desarrollo del milenio. Estudio de caso: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa. En esta tesis el autor analiza cómo es el servicio de agua y el saneamiento básico en el municipio de Santa Cruz el Naranjo, Santa Rosa, comparándolo con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), los cuales fueron adquiridos por Guatemala en la Asamblea de las Naciones Unidas en el 2000. Esta tesis específicamente trata de la meta 7C, que dice que se debe reducir al 50 %, para el año 2015, el porcentaje de familias sin acceso al agua potable y servicios de saneamiento.

El autor plantea el problema y formula una serie de preguntas orientadoras que servirán para plantear los objetivos, y también describe las técnicas de análisis de la información que utilizó. Describe el municipio, los ODM y los porcentajes de alcance de los ODM, específicamente el 7C, así

como qué es el agua potable y la norma que la regula, de la misma manera hace un análisis de alcantarillado en el municipio y el porcentaje de cumplimiento de ODM. (Palma, 2015)

Finalmente presenta los resultados de su investigación, con la cual determinó que el municipio estaba sobrepasado de la meta 7C de los ODM, ya que el suministro de agua potable abarca el 85.8 % del total de la población, aunque en el tema de saneamiento el municipio está por debajo de la meta 7C de los ODM por 12.83 %. Es necesario incrementar la inversión en infraestructura que garantice el saneamiento en el municipio, aumentando la recaudación para lograr alcanzar la meta 7C de los ODM. (Palma, 2015)

Castillo (2018) realizó el trabajo de tesis titulado Calidad y potabilidad del agua de consumo de las fuentes de abastecimiento y almacenamiento de la Aldea La Soledad, Acatenango, Chimaltenango. El autor hace una referencia de la comunidad, luego plantea el problema, exponiendo que el agua que se distribuye en el municipio es apta para consumo, describe la composición del agua y su clasificación, explica el ciclo hidrológico, las fuentes de abastecimiento y porcentajes de disponibilidad en el mundo, relata cómo han evolucionado los sistemas de desinfección, además de los mecanismos de purificación actuales, también los factores que alteran el proceso de purificación, analiza la inocuidad del servicio, la relación del agua con la salud, la educación y la pobreza.

Finalmente describe el método y tipo de estudio, que en este caso es descriptivo-analítico. Analizó el agua utilizada por la comunidad, estableciendo que no cumple con los parámetros requeridos según norma COGUANOR NGT 29001. (Castillo, 2018)

Determinó que el agua en la aldea es distribuida en forma intermitente 3 veces por semana y que no cubre los requerimientos mínimos de agua por persona para garantizar el saneamiento de los vecinos. El agua que ingieren es comprada a personas individuales que venden agua purificada en envases plásticos para evitar enfermarse, la potabilidad del agua es mala, por tanto, la calidad también lo es, según las conclusiones presentadas. (Castillo, 2018)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial el acceso al agua es limitado, y el acceso al agua apta para el consumo humano está inclusive más restringido. En las poblaciones urbanas, debido a factores como el costo de implementar un sistema de potabilización, el limitado presupuesto que se designa para la compra de hipoclorito de sodio, los deficientes procesos de desinfección o el rechazo de la mayoría de los vecinos a la desinfección del agua mediante la cloración, por no tener la costumbre de beber agua desinfectada con cloro. Esto ocasiona que la población padezca de enfermedades relacionadas con parásitos y bacterias contenidas en el agua que beben.

En la cabecera municipal de Villa Canales la principal fuente de abastecimiento de agua es a través de 5 pozos mecánicos que extraen agua del manto freático, y un nacimiento. Con el transcurrir de los años las zonas de recarga hídrica de los mantos acuíferos han sido deforestadas y contaminadas por actividades agrícolas o por la creación de nuevas urbanizaciones, el crecimiento poblacional y la poca infraestructura de tratamiento de las aguas residuales ha ocasionado la contaminación de las aguas superficiales, las cuales a su vez se infiltran en el suelo causando contaminación de los mantos freáticos con bacterias nocivas para la salud, causando enfermedades gastrointestinales en la población del casco central del municipio.

No realizar un proceso adecuado de potabilización del agua, que cumpla con los lineamientos de la norma técnica COGUANOR 29001 para ser considerada apta para el consumo humano, es un problema importante a resolver, porque un deficiente proceso de potabilización afecta a la población,

principalmente a los niños por inasistencia a clases, también afecta la economía familiar por ausencias en el trabajo y por los gastos que se realizan por aspectos médicos y compra de medicinas. Por otro lado, la deficiente potabilización del agua es un problema para la municipalidad, debido a que esto conlleva sanciones de índole administrativa, legal y penal. Por lo antes descrito se considera un problema relevante que debe ser solucionado.

Todo lo anterior conduce a las siguientes preguntas de investigación:

- Pregunta principal

¿Cuál es el correcto proceso de desinfección de agua potable de la cabecera municipal del municipio de Villa Canales?

- Preguntas específicas

- ¿Cuál es el estado actual del sistema de desinfección de agua potable de la cabecera municipal de Villa Canales?
- ¿Cuál es la calidad del agua que se distribuye en la cabecera municipal de Villa Canales?
- ¿Qué acciones debe realizar la municipalidad para garantizar la correcta dosificación del agua?
- ¿Cuál es la forma correcta de capacitación del personal encargado de la cloración de los pozos municipales de la cabecera del municipio de Villa Canales?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de Servicios e Infraestructura Municipales, propuesta de mejoramiento de los servicios públicos municipales de la Maestría en Ingeniería para el Desarrollo Municipal.

Con el presente trabajo de investigación se tiene como aporte principal la mejora en la calidad del agua potable que se distribuye en la cabecera municipal de Villa Canales, así como la disminución de enfermedades causadas por presencia de bacterias nocivas para la salud en el agua potable.

Como resultado de la investigación se obtendrá un diagnóstico del estado físico y de operación de los sistemas de desinfección en los distintos pozos de agua que abastecen la cabecera municipal. Se obtendrá datos del caudal que produce cada uno de los pozos y presiones en la tubería de conducción, se realizarán análisis bacteriológicos del agua potable que se distribuye, se propondrá un plan de capacitación adecuado para el personal encargado del proceso de desinfección, se elaborará un plan de muestreo en puntos estratégicos para el monitoreo constante del cloro residual en el agua potable en la red de distribución y se logrará eficiencia en el proceso de desinfección del agua potable.

Los beneficios que obtendrán los vecinos de la cabecera municipal de Villa Canales serán: la disminución en las enfermedades causadas por bacterias presentes en el agua potable, la economía familiar no se verá afectada por gastos innecesarios por atención médica y compra de medicinas

para la recuperación. Además la municipalidad de Villa Canales tendrá certeza de la correcta desinfección del agua potable que se distribuye, evitando sanciones por parte del Ministerio de Salud por no cumplir con los estándares establecidos de una correcta desinfección del agua.

En la cabecera municipal de Villa Canales nunca se han evaluado los sistemas de desinfección de agua potable, ni la eficiencia de los mismos, por tanto, esta investigación es importante debido a que con ella se podrá proponer un correcto proceso de desinfección del agua, lo cual aportará beneficios a la salud de los vecinos. También ayudará a la municipalidad a mejorar la calidad del servicio de agua potable que suministra a los vecinos que viven en la cabecera municipal.

5. OBJETIVOS

General

Definir un correcto proceso de desinfección del agua en la cabecera municipal de Villa Canales.

Específicos

- Evaluar el sistema de desinfección de agua potable de la cabecera municipal de Villa Canales
- Evaluar la calidad del agua que se distribuye en la cabecera municipal de Villa Canales.
- Proponer acciones que la municipalidad debe implementar para mejorar el proceso de desinfección del agua.
- Determinar la forma correcta de capacitación del personal encargado de la cloración de los pozos municipales de la cabecera del municipio de Villa Canales.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En la presente investigación se determinará la forma correcta de desinfección del agua que se suministra en la cabecera municipal de Villa Canales. La importancia de mantener un proceso de desinfección óptimo es garantizar que el agua que se consume sea potable. En esta investigación se realizarán las revisiones del proceso de dosificación y el análisis de cloro residual, esto ayudará a determinar el correcto funcionamiento del proceso de desinfección.

La mala desinfección del agua que se suministra se debe a múltiples factores a los que no se ha dado la importancia debida en el proceso de desinfección. Entre las causas principales a las que es necesario dar solución están las siguientes: la falta de mantenimiento de las bombas de inyección de cloro o su mala calibración, falta de un control periódico de los niveles de cloro residual a lo largo de las líneas de distribución, análisis bacteriológicos de manera esporádica o la omisión de estos, que no permite evaluar si la desinfección del agua se está realizando de manera efectiva.

Por lo tanto, es necesario realizar la correcta desinfección del agua para evitar que se enfermen los vecinos a los que se les provee el agua de los pozos municipales de la cabecera, y también realizar una correcta dosificación y no sobrepasar los límites máximos permisibles de concentración de cloro, lo cual evitará el rechazo de los vecinos debido a que un exceso de cloro en el agua ocasiona un sabor desagradable, además daña de manera prematura las tuberías de metal, tanto de las líneas de conducción como las de distribución,

finalmente es necesaria la correcta desinfección del agua debido a que es una obligación municipal que debe realizarse.

La implementación de las recomendaciones que aportará la presente investigación ayudará a reducir las enfermedades de origen hídrico, prolongará la vida útil de las tuberías HG colocadas en el sistema de abastecimiento de agua, evitará que la población rechace la desinfección por consumir agua con sabor y olor desagradables, y finalmente se evitarán consecuencias legales para la municipalidad al estar cumpliendo de manera adecuada con la desinfección del agua de la cabecera municipal de Villa Canales.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Calidad del agua

“Calidad del agua es un término usado para describir la características químicas, físicas y biológicas del agua” (Perlman, 2017, p. 1). Según la OPS (2005): “los límites de concentración establecidos por las normas internacionales de calidad de agua para consumo humano son la referencia de calidad estándar para que los seres humanos puedan consumirla” (p. 6).

7.1.1. Calidad microbiológica

La calidad microbiológica se refiere a la ausencia en el agua de patógenos como: coliformes totales, escherichia coli, que son la causa más común de enfermedades diarreicas en la población y representan un peligro para la salud. Es preciso mencionar que con la cloración del agua se busca la eliminación de estos patógenos para que esta sea potable, a medida que la presencia de los mismos esté dentro de los LMP de la norma COGUANOR NTG 29001.

7.1.2. Calidad química del agua

“La calidad química del agua para el consumo humano se basa en la comparación de los resultados de los análisis con los establecidos en los valores de referencia, a los cuales no deben exceder” (Salguero, 2016, p. 20).

Continúa mencionando Salguero (2016):

En el caso de Guatemala, los valores obtenidos en los ensayos, deben compararse con los que establece la norma COGUANOR NTG 29001, cuyas especificaciones establecen que para que el agua analizada sea considerada de calidad química, los valores obtenidos en campo deben ser inferiores a los establecidos en dicha norma. (p.20)

7.1.3. Agua potable

El agua puede considerarse potable cuando cumple con los parámetros establecidos en la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001, la cual se define como “aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor” (p. 4).

7.2. Características físicas y organolépticas del agua para consumo humano

En la siguiente tabla se presentan las características físicas y organolépticas especificadas en la norma COGUANOR NTG 29001, así como los límites máximos aceptables y los límites máximos permitidos.

Tabla I. **Características físicas y organolépticas del 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 μ S/cm	1500 μ 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

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

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas (1962). *Norma Técnica Guatemalteca [NTG 29001]*.

7.3. Características químicas del agua para consumo humano

En la siguiente tabla se describen detalladamente las características químicas que debe cumplir el agua para poder ser potable.

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

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre ^(a)	0,5	1,0
Cloruro (Cl ⁻)	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO ₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO ₄ ⁻)	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	-----

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

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas (1962). *Norma Técnica Guatemalteca [NTG 29001]*.

Tabla III. **Substancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Substancia	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,70
Boro (B)	0,30
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN ⁻)	0,070
Cromo total (Cr)	0,050
Mercurio total (Hg)	0,001
Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010
Nitrato (NO ₃ ⁻)	50,0
Nitrito (NO ₂ ⁻)	3,0

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas (1962). *Norma Técnica Guatemalteca [NTG 29001]*.

Tabla IV. **Substancias plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Grupo	LMP (µg/L)
Compuestos organoclorados^(a)	
Aldrín y Dieldrín	0,03
Clordano	0,20
Clorotolurón	30,0
DDT y sus metabolitos	1,00
Endrín	0,60
Lindano	2,00
Metoxicloro	20,0
Pentaclorofenol	9,00
Acidos fenoxi	
2,4-D	30,0
2,4-DB	90,0
2,4,5-T	9,00
Mecoprop	10,0
Dicloroprop	100,0
MCPA	2,00
Fumigantes	
1,2-Dicloropropano	40,0
1,3-Dicloropropeno	20,0
DBCP (1,2-Dibromo-3-cloropropano)	1,00
Triazinas	
Atrazina	2,00
Simazina	2,00
Acetanilidas	
Alacloro	20,0
Metolacloro	10,0
Carbamatos	
Aldicarb y sus metabolitos	10,0
Carbofurán	7,00
Isoproturón	9,00
Molinato	6,00
Pendimetalina	20,0
Amidas	
Di (etil-hexil) ftalato	8,00
Trifluralín	20,0
Organofosforados	
Carbofurán	7,00
Clorpirifós	30,0
Dimetoato	6,00

^(a) Aunque algunas de estas sustancias ya no son permitidas se asignan los valores límite, debido a su persistencia ambiental.

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas (1962). *Norma Técnica Guatemalteca [NTG 29001]*.

Tabla V. **Substancias orgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Compuesto	LMP (µg/L)
Acido edético (EDTA) ⁽⁴⁾	600,0
Acido nitrilo triacético	200,0
Benceno	10,0 ⁽¹⁾
Cloruro de vinilo	0,3, ⁽¹⁾
o-diclorobenceno	1000,0 ⁽²⁾
p-diclorobenceno	300,0 ⁽²⁾
1,2-dicloroetano	30,0 ⁽¹⁾
1,1-dicloroetano	30,0
1,2-dicloroetano	50,0
cis-1,2-dicloroetileno	50,0
trans-1,2-dicloroetileno	50,0
Diclorometano	20,0
1,2-dicloropropano	40,0 ⁽³⁾
Di(2-etilhexil)ftalato	8,0
1,4-dioxano	50,0 ⁽¹⁾
Estireno	20,0 ⁽²⁾
Etilbenceno	300,0 ⁽²⁾
Hexaclorobutadieno	0,6
Pentaclorofenol	9,0 ^{(1) (3)}
Tetracloruro de carbono	4,0
Tetracloroetano	40,0
Tolueno	700,0 ⁽²⁾
Tricloroetano	20,0 ⁽³⁾
Xileno	500,0 ⁽²⁾

(1) El valor de referencia de las sustancias que se consideran cancerígenas es la concentración en el agua asociada con un límite de riesgo adicional de cáncer durante toda la vida de 10^{-5} (un caso adicional de cáncer por cada 100,000 personas que ingieren agua de bebida con una concentración de la sustancia igual al valor de referencia durante 70 años). Las concentraciones asociadas con límites superiores estimados de riesgo adicional de cáncer de 10^{-4} y 10^{-5} pueden calcularse multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor de referencia por 10.

(2) Concentraciones de la sustancia iguales o superiores al valor de referencia basado en criterios de salud pueden afectar la apariencia, gusto u olor del agua, dando lugar a reclamos por parte de los consumidores.

(3) Valor de referencia provisional, dado que hay evidencia de que la sustancia es peligrosa, pero existe escasa información disponible relativa a sus efectos sobre la salud.

(4) Aplica al ácido libre.

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas (1962). *Norma Técnica Guatemalteca [NTG 29001]*.

7.4. Características microbiológicas

“Son las que se originan por presencia de microorganismos que determinan su calidad” (Comisión Guatemalteca de Normas, 1962, p. 5).

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

Micro organismos	Limite Máximos Permisibles
Agua para consumo directo Coliformes totales y E. Coli	No debe ser detectable en 100 mL de agua
Agua para consumo directo Coliformes totales y E. Coli	No debe ser detectable en 100 mL de agua
Agua para consumo directo Coliformes totales y E. Coli	No debe ser detectable en 100 mL de agua

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas (2010). *Norma Técnica Guatemalteca [NTG 29001]*.

7.5. Indicadores bacteriológicos

Según la OMS (2003): “los análisis bacteriológicos ponen de manifiesto la presencia de bacterias que alteran y modifican la aptitud del agua para un determinado uso, actualmente existen métodos rápidos para determinar la presencia de estas” (p. 10).

En este mismo sentido, el Ministerio de Salud y Asistencia Social establece que los resultados de los análisis para fines oficiales deben ser:

Extendido por la autoridad de salud competente, que hace constar que una fuente de agua es apta para ser utilizada en un sistema de abastecimiento, de acuerdo con su aptitud sanitaria para satisfacer las normas y especificaciones de potabilidad vigentes y en función de sus propiedades físicas, químicas y bacteriológicas y los métodos de tratamiento y desinfección previstos. (Ministerio de Salud y Asistencia Social, 2009, p. 2).

7.6. Contaminación del agua

“Los sabores u olores del agua corresponden a algún tipo de contaminación, que indiquen la presencia de sustancias dañinas para la salud. La turbiedad, color, partículas u organismos visibles, pueden afectar la aceptabilidad y la confianza de su calidad” (OMS, 2006, p. 184).

Muchas fuentes de agua en Guatemala se están contaminando debido a la poca conciencia que tienen la población de la importancia del agua para los seres vivos, llegando al extremo de contaminar de forma directa las fuentes de agua superficiales vertiendo aguas servidas sin tratar y en otros casos tirando los desechos sólidos a los ríos y lagos. (Funcagua, 2020, p.1)

Con base en lo anterior, se comprende que la contaminación del agua también puede ser de forma indirecta, ya que las lluvias y los riegos en la agricultura pueden arrastrar contaminantes a las fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas. La contaminación del agua puede ser física, química y biológica.

Figura 1. **Contaminación del agua con desechos sólidos**



Fuente: Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental (s.f.) *Contaminación del agua con desechos sólidos*. Recuperado de <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua/>

Figura 2. **Contaminación de fuentes de agua con aguas residuales**



Fuente: Funcagua (s.f.). *Contaminación del agua*. Recuperado de <https://funcagua.org.gt/contaminacion/>

Según Funcagua (2020):

Hay varios factores que provocan la contaminación del agua:

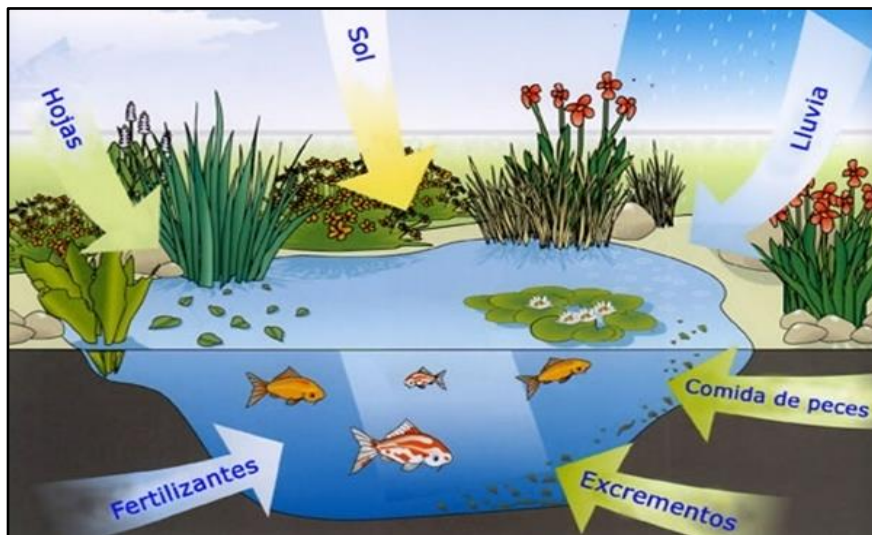
- El vertido de desechos municipales (aguas residuales) sin tratar.
- El vertido de desechos industriales sin tratamiento.
- El aumento en la temperatura del agua que ocasiona la disminución de oxígeno en su composición.
- La deforestación y erosión del suelo.
- El uso de pesticidas y fertilizantes.
- Arrojar desechos sólidos a los cuerpos de agua. (p.1)

7.6.1. Contaminación de origen biológico

Para Funcagua (2020) “la contaminación biológica es aquella que es causada por la presencia de microorganismos como bacterias, virus y parásitos que pueden producir enfermedades como el cólera y otras que afectan en el sistema digestivo” (p. 14). También indica que “las aguas se contaminan al verter en ellas restos de animales, desechos fecales de humanos y animales, entre otros” (Funcagua, 2020, p. 15).

Es relevante mencionar que, en el interior del país, en las áreas rurales, las fuentes de agua superficiales suelen contaminarse por la falta de servicio básico de alcantarillado y falta de letrinas para depositar las heces fecales, razón por la cual las personas hacen sus necesidades fisiológicas al aire libre y las lluvias las arrastran hacia las aguas superficiales.

Figura 3. **Contaminación de origen biológico**



Fuente: El Blog Verde (s.f.). *Contaminación biológica del agua*. Recuperado de <https://elblogverde.com/contaminacion-biologica-del-agua/>

7.6.2. **Contaminación de origen químico**

El agua por naturaleza es un solvente universal, lo cual favorece a la disolución de una gran variedad de químicos, fertilizantes, plaguicidas, detergentes, colorantes, entre otros. Según la OMS (2006): “los riesgos a la salud debido a los componentes químicos del agua de consumo se deben a que después de periodos de exposición prolongados, estos provocan efectos adversos sobre la salud” (p. 12).

7.6.3. **Importancia de la desinfección del agua**

En el planeta el 70 % de la superficie está cubierta por agua, pero tan solo el 3 % del volumen es agua dulce mayormente concentrada en los

cascos polares en forma de glaciares, también se encuentra en la superficie en forma de lagos, ríos, nacimientos y en capas subterráneas. (Funcagua, 2020, p. 11)

Con base en lo citado, el agua se desinfecta para destruir los organismos patógenos que están presentes en ella y disminuir así el riesgo de contraer enfermedades de origen hídrico al ingerirla.

7.6.4. Vigilancia del sistema de abastecimiento de agua

Menciona Salguero (2016) que “realizar pruebas rápidas en campo es útil porque es un indicador de cómo está la calidad del agua, aunque no se determine específicamente qué bacterias son las presentes, porque estas se determinan en un laboratorio de manera formal” (p. 47). Es preciso resaltar que, de acuerdo con OPS 27, citado por ANAM (2010): se “recomienda el método de ausencia-presencia como un elemento básico para medir la calidad microbiológica del agua” (p. 30).

7.7. La prestación del servicio de agua potable en Guatemala

La prestación del servicio de agua es una competencia propia de las municipalidades, no obstante, no se puede obviar el hecho de que también el servicio es prestado por comités de vecinos que administran una o varias fuentes de agua y administradores de proyectos urbanísticos que han perforado un pozo mecánico con fines de satisfacer la demanda de agua en sus proyectos habitacionales.

7.8. Tipos de servicio de agua potable

Los servicios de agua en una población solamente pueden ser distribuidos de dos formas, por gravedad o con ayuda de equipos electromecánicos. La selección de la forma de distribución depende de factores como la localización de las viviendas con respecto al depósito. Si el depósito o la fuente está en un nivel más bajo que las viviendas donde se prestará el servicio, se utilizan medios mecánicos para su distribución. Por el contrario, si el depósito se encuentra en un nivel más alto con respecto a las viviendas donde se prestará el servicio, se aprovecha la fuerza de gravedad para la distribución.

7.8.1. Servicio de agua potable por gravedad

Arreaga (2017) señala que “el servicio de agua potable denominado por gravedad es aquel cuyo sistema de conducción aprovecha la fuerza de gravedad (diferencia de cotas topográficas) para trasladar el agua desde la fuente hasta el tanque de almacenamiento y distribución” (p. 10).

En efecto, estos sistemas tienen como fuentes nacimientos y ríos que, en su mayoría, no reciben tratamiento. Este sistema de distribución es el más económicos debido a que no requiere el uso de energía eléctrica para el funcionamiento. Comúnmente solo requiere de un tanque de captación de agua superficial o un nacimiento en las partes altas de la comunidad donde se distribuirá, así como una tubería de distribución.

7.8.2. Servicio de agua potable por bombeo

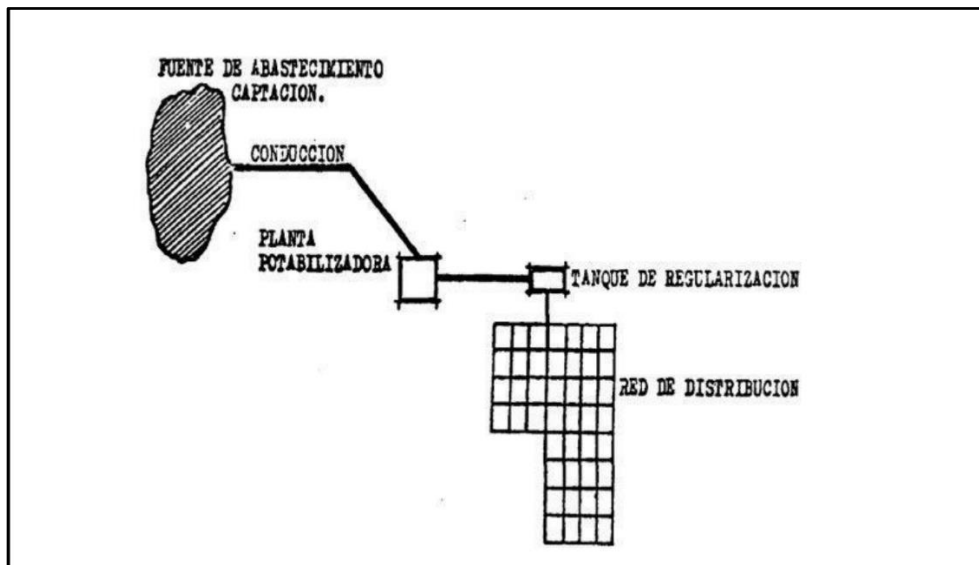
De acuerdo con Arreaga (2017): su “fuente de abastecimiento son las aguas subterráneas, y requiere el uso de equipo de bombeo para la succión del agua y su traslado a un tanque de almacenamiento y distribución” (p.10).

Aunado a esto, el servicio de agua potable por bombeo es común encontrarlo en los lugares o poblaciones donde el uso del suelo ha cambiado y no existen fuentes de agua superficiales o las mismas se encuentran muy contaminadas, por lo que se extrae el agua de fuentes subterráneas que son comúnmente desinfectadas con hipoclorito de sodio o con gas cloro, debido a que existen fuentes de energía que permiten la instalación de estos sistemas de desinfección del agua.

7.9. Componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable

Un sistema de abastecimiento de agua potable está conformado por: tanque de captación, pozo mecánico, sistema de desinfección del agua, tubería de conducción, tanque de captación, llaves de distribución, válvulas de presión, tubería de distribución y conexiones domiciliarias.

Figura 4. **Componentes de un sistema de agua potable**



Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (2011). *Componentes de un sistema de agua potable*. Recuperado de:

<https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludambiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/NormasdeDisenoSistemasRuralesAgua.pdf>

7.9.1. **Pozo mecánico**

Desde la perspectiva de Guzmán (2014): “el pozo mecánico es una perforación vertical, en general de forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad” (p. 19). Es decir que el agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo de tipo radial.

7.9.3. Línea de conducción

Es la tubería principal que conduce el agua extraída hacia un tanque de almacenamiento. La característica principal de la línea de conducción es su alta presión interna debido a que, por lo general, los depósitos o tanques de almacenamiento hacia donde se conduce el agua se encuentran ubicados en partes altas de la comunidad.

7.9.4. Almacenamiento/tanque de distribución

“Es el lugar donde se almacena y regula el agua que se va distribuir en una comunidad” (Salguero, 2016, p. 41). Aquí es donde se retiene el agua por el tiempo necesario para que el agente desinfectante elimine las bacterias nocivas al ser humano.

7.9.5. Líneas de distribución

De acuerdo con la norma COGUANOR 29001 (2010), las líneas de distribución son:

Conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten la entrega del agua a los consumidores de forma constante, con presión apropiada y en cantidad suficiente para satisfacer sus necesidades, se consideran parte de una red de distribución: camiones cisterna y depósitos de cualquier naturaleza. (p. 6)

Fundamentalmente, las tuberías que distribuyen son las que requieren mayor mantenimiento debido a que están colocados en las carreteras

principales y a causa de esto las vibraciones del tránsito vehicular las dañan, es necesario repararlas a la brevedad posible.

7.10. Desinfección

Sostiene la Organización Mundial de la Salud (2006) que “la desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua potable, la destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos como el cloro” (p. 14).

Además, la OMS (2006) señala que “la desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo y debe utilizarse tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal” (p. 14).

Finalmente la OMS (2006) menciona que “la desinfección residual se utiliza como protección parcial contra la contaminación con concentraciones bajas de microorganismos y su proliferación en el sistema de distribución” (p. 14).

7.10.1. Proceso y características de la desinfección

El proceso de desinfección como parte de la potabilización del agua para consumo humano tiene la finalidad de destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua, por lo tanto, el proceso de desinfección varía según el agente desinfectante que será utilizado.

7.10.2. Agentes desinfectantes

Las características de un desinfectante según la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá .D.C. (2004) son:

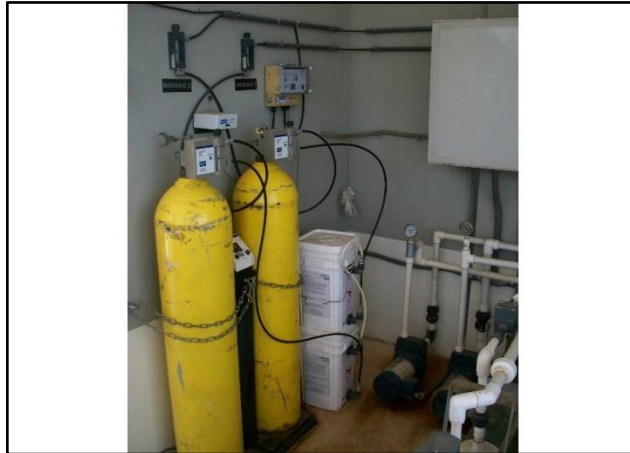
Debe ser soluble en agua, amplio espectro de actividad, estable: tiempo prolongado de vida útil, no debe reaccionar con materia orgánica ni inactivarse en presencia de ella, escasa o nula toxicidad para el ser humano, acción rápida, capacidad de penetración, acción residual, compatible con todos los materiales, disponibilidad y buena relación costo-riesgo-beneficio, no debe afectar al medio ambiente. (p. 8)

Figura 6. Depósitos de hipoclorito de sodio



Fuente: Failde S.L. (s.f.). *Depósito de hipoclorito de sodio*. Recuperado de <http://www.faildesl.com/brenntquisan-cloro-liquido>

Figura 7. **Cilindros de gas cloro**



Fuente: Ecotec (s.f.). *Cilindros de gas cloro*. Recuperado de <https://ecotec.com.gt/producto/sistemas-de-dosificacion-de-cloro-gas/>

Figura 8. **Pastillas de hipoclorito de calcio**



Fuente: Nogal Park (s.f.). *Pastillas de hipoclorito de calcio*. Recuperado de <https://nogalpark.com/productos/ver/CLOROENPASTILLASMULTIACCIONNATACLOR1-KG-5-pastillas-de-200-g> NOGALPARK

7.10.3. Tipos de desinfección

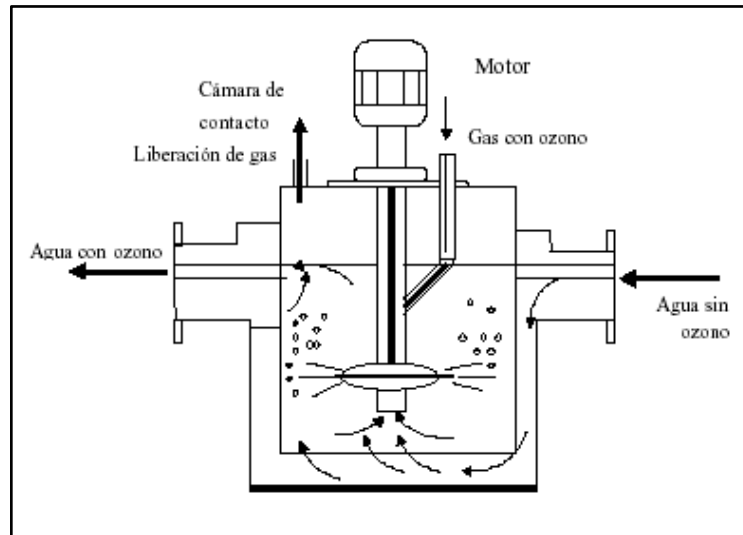
La OPS (1991) menciona que “existen dos tipos de desinfección del agua, físicos como lo son la filtración, la ebullición y rayos ultra violeta” (p. 23). Los químicos son aquellos que utilizan un agente desinfectante para eliminación de bacterias.

7.10.3.1. Desinfección con ozono

Es un método de desinfección muy superior al de cloración, pero lamentablemente las condiciones necesarias y los costos que implica la implementación de este método lo colocan en desventaja para que sea aplicado a todos los sistemas de aprovisionamiento de agua municipales. Salguero (2016) indica que:

La técnica se basa, fundamentalmente, en lograr un tiempo de contacto adecuado del agua, con la cantidad adecuada de ozono, concentraciones de entre 0.5 y 0.8 mg/l de ozono durante unos tres o cuatro minutos son suficientes para conseguir una calidad de agua excepcional y desinfectada. Tras el tratamiento, el ozono se descompone en oxígeno tras varios minutos no dejando ningún tipo de residual, pero, por consiguiente, tampoco existirá ningún residual desinfectante que pudiera prevenir el crecimiento bacteriológico. (p. 33)

Figura 9. **Sistema de desinfección con ozono**



Fuente: Marín, R. (s.f.). *El ozono en el tratamiento del agua*. Recuperado de <http://www.elaguapotable.com/ozonizacion.htm>

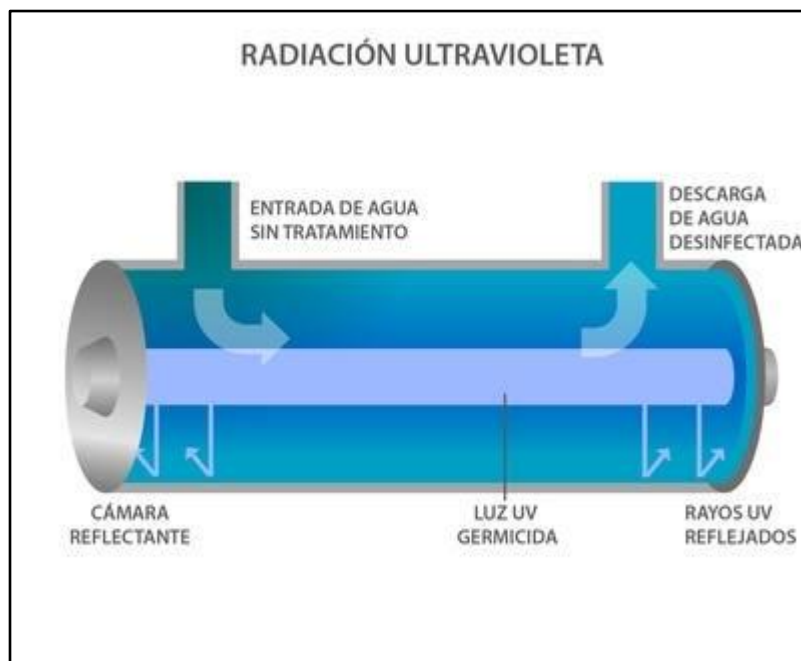
7.10.3.2. **Desinfección con rayos UV**

Corresponde a la desinfección por radiación UV, no inactiva a los microorganismos por vía química, como lo hacen otros desinfectantes, sino por la absorción de la luz, la cual origina una reacción fotoquímica que altera los compuestos moleculares esenciales en la función celular.

Asimismo, la desinfección a través de radiaciones UV tiene lugar como consecuencia de la inactivación del ácido desoxirribonucleico (ADN) de los microorganismos por estas radiaciones. También los ácidos nucleicos son los puntos de ataque de las radiaciones UV. No obstante, no es utilizada en sistemas de desinfección en fuentes de agua municipales debido a que tiene la

desventaja de no tener capacidad de desinfección residual que proteja la red de tubería de crecimiento de algas o bacterias en su interior.

Figura 10. **Sistema de desinfección con rayos UV**



Fuente: Agua Purificación (s.f.) *Tratamiento de agua por rayos ultra violeta*. Recuperado de <http://agua-purificacion.blogspot.com/2010/01/tratamiento-de-agua-por-rayos.html>

7.10.3.3. Desinfección con hipoclorito de calcio

La OPS (1991) indica que:

Es utilizada cuando no existe energía eléctrica cerca de la fuente de agua o tanque de distribución, el hipoclorito de calcio se encuentra granulado de color blanco amarillento o en tabletas; su concentración es

aproximadamente entre un 65 % a 70 % de cloro activo disponible en peso. En este estado el cloro no es corrosivo. (p. 7)

Efectivamente, su aplicación consiste en colocar una derivación de la tubería hacia un contenedor de pastillas de hipoclorito de calcio en donde entra en contacto con el agua, diluyéndose de forma controlada. Se deben hacer varias mediciones del contenido de cloro e ir graduando el flujo de agua que ingresa al clorinador hasta que se obtengan los parámetros de cloro necesarios para la correcta desinfección.

Figura 11. **Sistema de desinfección con hipoclorito de calcio**

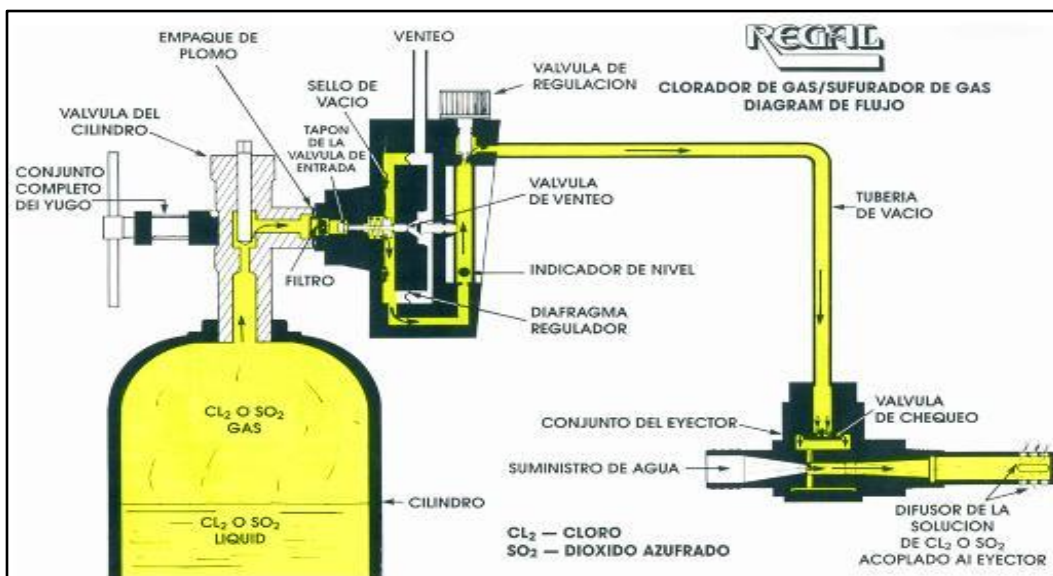


Fuente: Baja Verapaz Para el Desarrollo Local (2011). *Sistema de desinfección de agua con hipoclorito de calcio*. Recuperado de <https://bajaverapazgt.wordpress.com/>

7.10.3.4. Desinfección con gas cloro

Menciona Ponce (2005) que “al abrir la válvula del cilindro de cloro la presión disminuye, parte del cloro líquido vuelve a su estado gaseoso y así es succionado por los cloradores e inyectado al agua en solución” (p. 93). La manipulación de este agente desinfectante requiere de un lugar con buena ventilación y con acceso a tomas de corriente eléctrica.

Figura 12. Sistema de desinfección con gas cloro



Fuente: Agua y Aire (s.f.). *Esquema de un sistema de cloración automático*. Recuperado de <https://www.aguayaire.com/cloradores.htm>

7.10.3.5. Desinfección con hipoclorito de sodio

La desinfección con hipoclorito de sodio es muy parecida a la desinfección con gas cloro, la única variante es que el hipoclorito de sodio es más estable y seguro de manipular, se puede almacenar en depósitos de PVC,

en un lugar resguardado de las inclemencias del tiempo y lejos de la exposición directa del sol. La luz solar acelera el proceso de degradación del cloro en los recipientes donde se encuentre almacenado.

Figura 13. **Desinfección con hipoclorito de sodio**



Fuente: [Fotografía de Joel Zamora]. (Ciudad de Guatemala, 2022). Colección particular. Guatemala.

7.11. Sistema de desinfección con hipoclorito de sodio

Está formado de distintos componentes que deben funcionar de forma correcta para realizar un proceso de desinfección efectivo. De los depósitos se extrae el agente desinfectante con la manguera de succión por medio del vacío creado por la bomba dosificadora, la bomba dosificadora funciona en dos etapas, una de succión y otra de inyección. En la primera se abastece de cloro y en la segunda se impulsa e introduce al agua utilizando un inyector, el

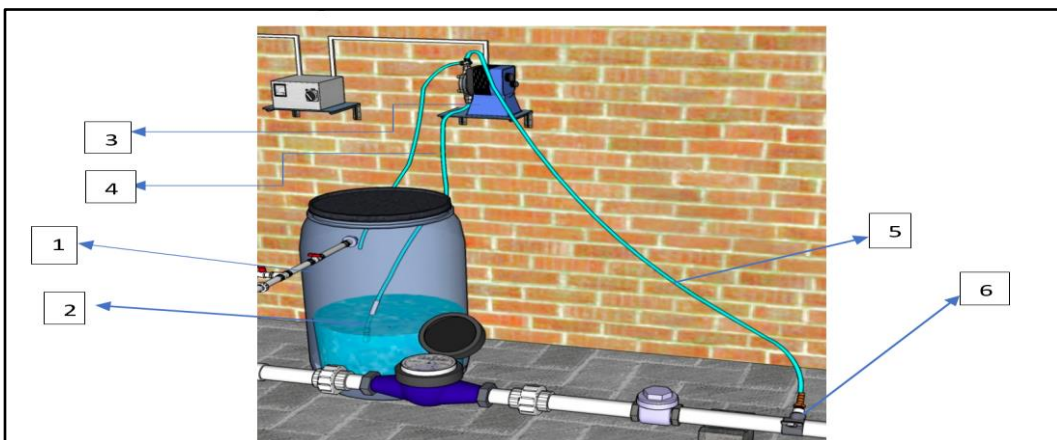
clorinador se debe graduar según los parámetros específicos y no se sobrepasen los límites máximos permisibles.

7.11.1. Componentes de un sistema de desinfección con hipoclorito de sodio

Los componentes del sistema de desinfección con hipoclorito de sodio son:

- Depósitos de cloro
- Filtro y manguera de succión
- Clorinador
- Manguera de purga
- Línea de inyección
- Inyector

Figura 14. Sistema de desinfección



Fuente: Vigo, C. (2018). *Dosificador de Cloro con Bomba Eléctrica*. Recuperado de https://doc.rero.ch/record/323361/files/20-18_dosificado_de_cloro_con_bomba_elctrica.pdf.

7.11.2. Dosificadores

Rinomaquinaria (2021) afirma que “un dosificador o máquina dosificadora es una herramienta útil de trabajo, la cual permite agregar un líquido o sólido en cantidades exactas en cada una de sus descargas” (p. 7). Es preciso mencionar que, en municipalidades del área rural, por tener un presupuesto bajo para el mantenimiento de sistemas de cloración, es común utilizar los codificadores de hipoclorito de calcio para poder desinfectar el agua.

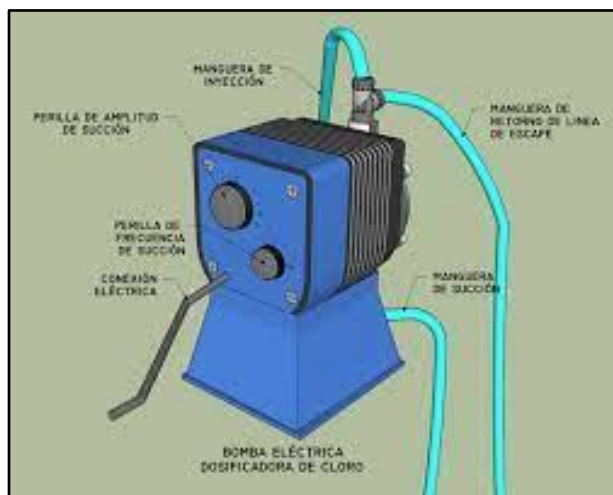
Figura 15. **Clorinadores de hipoclorito de calcio**



Fuente: Técnica del Futuro (s.f.). *Clorinadores de hipoclorito de calcio*. Recuperado de [https://www.tecnicaldefuturo.com/product/dosificador-de-pastillas-de-cloro-severn-trent-model-](https://www.tecnicaldefuturo.com/product/dosificador-de-pastillas-de-cloro-severn-trent-model-100/)

100/

Figura 16. **Bomba dosificadora**



Fuente: Vigo, C. (2018). *Dosificador de Cloro con Bomba Eléctrica*. Recuperado de https://doc.bero.ch/record/323361/files/20-18_dosificado_de_cloro_con_bomba_elctrica.pdf.

7.11.3. **Funcionamiento de los dosificadores de hipoclorito de sodio**

Díaz, Pacheco, Cabrera y Loayza (2018) indican que “es un equipo accionado por bombas de diafragma o pistón que succionan la solución clorada del tanque que lo contiene e inyectan esta solución mediante pulsaciones en la línea de impulsión del sistema de agua potable” (p. 6).

Díaz *et al.* (2018) continúan mencionando que “permite la regulación del caudal de dosificación de cloro en función a la dosis de cloro que demanda el caudal de bombeo del sistema de agua potable que ingresa al reservorio” (p. 6). Por lo tanto, las bombas dosificadoras se pueden calibrar corrigiendo la frecuencia de inyección y la fuerza con la que es inyectado el desinfectante, es

por esta razón que es necesario conocer la producción de agua y la presión en la tubería de impulsión.

Figura 17. **Bomba dosificadora de diafragma**



Fuente: [Fotografía de Joel Zamora]. (Ciudad de Guatemala, 2022). Colección particular. Guatemala.

Figura 18. **Bomba de inyección rotativa**



Fuente: [Fotografía de Joel Zamora]. (Ciudad de Guatemala, 2022). Colección particular. Guatemala.

7.12. Enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada

Existen muchas investigaciones que demuestran que el agua contaminada es la principal causa de enfermedades del tracto digestivo, las cuales se identifican como Enfermedades Transmitidas por Alimentos y/o agua (ETAs). Entre las más comunes se pueden mencionar gastroenteritis aguda y diarrea ocasionada por *Escherichia coli*, *Salmonella* o *Shigella*.

Existen otro tipo de enfermedades ocasionadas por presencia de bacterias en el agua, entre las que están: el cólera, la Hepatitis A y E, disentería amebiana ocasionada por agente parasitario *Entamoeba Histolytica*. Las enfermedades causadas por las ETAs son monitoreadas por el Ministerio de Salud Pública a través de su departamento de epidemiología, debido a su alto riesgo de ocasionar una epidemia en la población.

7.13. Marco legal

Es la base fundamental sobre la cual se basan todas las actuaciones en cuanto a la administración, explotación, calidad, control, almacenamiento y distribución del agua en Guatemala.

7.13.1. Constitución Política de República de Guatemala

La Constitución Política de la República de Guatemala en el Artículo 97 establece:

El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a proporcionar desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el

equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua se realicen racionalmente, evitando su depredación. (Asamblea Nacional Constituyente, 1985, artículo 97)

Aunado a esto, es preciso citar que la Constitución Política de la República de Guatemala en el Artículo 253 establece que:

Los municipios de la República de Guatemala, son instituciones autónomas. Entre otras funciones les corresponde: a) Elegir a sus propias autoridades; b) Obtener y disponer de sus recursos; y c) Atender los servicios públicos locales, el ordenamiento territorial de su jurisdicción y el cumplimiento de sus fines propios. Para los efectos correspondientes emitirán las ordenanzas y reglamentos respectivos. (Asamblea Nacional Constituyente, 1985, artículo 253)

7.13.2. Código Municipal

Al respecto, el Código Municipal en el Artículo 35 establece que:

Le corresponde al gobierno municipal, ejercido por el consejo municipal, una serie de atribuciones que se relacionan con la gestión municipal del agua, entre ellas lo establecido en el Artículo 68 inciso a) abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada, por lo que las autoridades municipales deben regular y prestar los servicios públicos de su jurisdicción, teniendo la facultad de la determinación y cobro de las tasas correspondientes. (Decreto 12-2002 del Congreso de la República de Guatemala, 2002, artículo 35)

7.13.3. Código de Salud

El Código de Salud, Decreto No. 90-97 del Congreso de la República de Guatemala en sus Artículos 78-91 de la sección II: Agua Potable, dispone de una serie de condiciones de observancia obligatoria para las municipalidades.

Establece el Código de Salud en el Artículo 79:

Obligatoriedad de la Municipalidades. Es obligación de la Municipalidades abastecer de agua potable a las comunidades situadas dentro de su jurisdicción territorial, conforme lo establece el Código Municipal y las necesidades de la población en el contexto de las políticas de Estado en esta materia y consignadas en la presente ley. (Decreto 90-97 del Congreso de la República de Guatemala, 1997, artículo 79)

7.13.4. Reglamento de Normas Sanitarias para la Administración, Construcción, Operación y Mantenimiento de los Servicios de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano

El Acuerdo Gubernativo 113-2009 establece: “en este acuerdo queda establecido los lineamientos legales sobre los que las municipalidades se deben de basar para la prestación del servicio de agua potable” (p. 1).

7.13.5. Reglamento para la Certificación de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Proyectos de Abastecimiento

En este reglamento se establecen los lineamientos para que una fuente de agua sea certificada por el ente rector, en el mismo indudablemente se hace mención del cumplimiento de las Normas COGUANOR NGT 29001.

7.13.6. Manual de Normas Sanitarias que Establecen los Procesos y Métodos de Purificación de Agua para Consumo Humano

Da los lineamientos sobre los métodos y agentes desinfectantes que se pueden utilizar para la desinfección de agua antes de su consumo en condiciones normales y en casos de emergencia. (Acuerdo Ministerial 1148-09, 2009, s.p.)

7.13.7. Normas COGUANOR NTG29001

El Decreto No. 1523 del 05 de mayo de 1962 contiene la tabulación de los LMA y LMP de compuestos químicos, características sensoriales, biosidas y límites bacteriológicos. Además, las Normas COGUANOR NTG 29001 regulan las concentraciones que debe tener el agua clorada y los métodos de análisis bacteriológicos, todos relacionados con la calidad que debe cumplir el agua para consumo humano.

7.14. Capacitación

Concepto y Definición De (2021) afirma que “es el arte y la disposición de educar, instruir y enseñar a un número determinado de personas que pretende ser parte de una empresa o de un grupo laboral” (p. 2). Es preciso mencionar que, con la capacitación, se busca que las personas obtengan un conocimiento extra acerca de un tema u ocupación en específico.

7.14.1. Tipos de capacitación

En general, los tipos de capacitación son: capacitación para el trabajo, en el trabajo, informal, formal, preingreso, inducción, promocional, técnica y conductual.

En referencia a la capacitación formal, es aquella que se da al personal que actualmente está laborando y necesita mejorar sus capacidades para el mejor desempeño de su trabajo. Es importante mencionar que, según el trabajo que se asigne a un colaborador, este deberá poseer conocimientos básicos y habilidades que le permitan realizar el trabajo designado de la manera más eficiente. Debido a que los conocimientos en distintas áreas se amplían o se mejoran es necesario una capacitación constante, el tipo de capacitación del personal depende del puesto que cada persona desempeñe y sus habilidades de retención de la información. Existen personas cuya retención es muy buena y aprenden únicamente con leer y visualizar, y a otras es necesario enseñarles con método prácticos.

7.14.1.1. Capacitación teórica

Es el tipo de capacitación en donde se transmite a las personas conocimientos e instrucciones sobre cómo realizar tareas asignadas. Se realiza fuera del área de trabajo, en instalaciones que faciliten el uso de herramientas didácticas necesarias para la buena comprensión y retentiva del personal que se está capacitando. Las capacitaciones teóricas deben proporcionar al personal un conocimiento científico fundamental necesario para el buen desempeño del trabajador.

Figura 19. Capacitación teórica



Fuente: Ecosit (2020). *Capacitaciones*. Recuperado de <https://www.ecosit.com.ec/capacitaciones/>

7.14.1.2. Capacitación práctica

Es el método de capacitación que permite al personal aprender determinadas tareas en el momento que el instructor está transmitiendo los

conocimientos, se realiza en el lugar o puesto de trabajo bajo la estricta supervisión del capacitador. Este método es el más efectivo para que las personas con baja escolaridad aprendan y retengan la información y conocimientos nuevos.

Figura 20. **Capacitación práctica**



Fuente: Ed Control. *Capacitación práctica*. Recuperado de <http://www.edcontrol.com/images/instrumentacion/187/noticias/sistema-dual.jpg>

7.14.2. Métodos de capacitación

Son la forma de organizar, implementar y ejecutar las diferentes técnicas y procesos de enseñanza. Entre estos se debe tener en cuenta lo siguiente, según Pinto (2012):

- Si se realizará dentro o fuera del puesto de trabajo
- Si será presencial o no
- Si se realizará de manera individual o colectiva

- Si el aprendizaje será activo o pasivo

Debido a que el personal a capacitar son personas adultas con un grado de escolaridad bajo, se utilizarán varios métodos para la capacitación, se realizará fuera del puesto de trabajo, de forma presencial, colectiva y de forma dinámica activa.

7.14.3. Material didáctico para capacitación

En una capacitación a personas adultas es necesario contar con material didáctico que facilite la retención de todos los conocimientos impartidos en la capacitación. Las personas adultas aprenden de una manera distinta a los jóvenes, por esta razón se utilizará material didáctico dinámico como: videos, imágenes y material didáctico impreso.

Figura 21. **Material didáctico**

visuales	Auditivos	Audiovisuales
PROYECTABLES <ul style="list-style-type: none"> • Diapositivas • Retroproyectores 	<ul style="list-style-type: none"> • Radio • CD Players 	<ul style="list-style-type: none"> • Videos • Programas televisivos • Documentales
NO PROYECTABLES <ul style="list-style-type: none"> • Fotografías • Afiches • Murales • Pizarras • Materiales impresos 		

Fuente: elaboración propia.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Calidad del agua

1.1.1. Calidad microbiológica

1.1.2. Calidad química del agua

1.1.3. Agua potable

1.2. Características físicas y organolépticas del agua para consumo humano

1.3. Características químicas del agua para consumo humano

1.4. Características microbiológicas

1.5. Indicadores bacteriológicos

1.6. Contaminación del agua

1.6.1. Contaminación de origen biológico

1.6.2. Contaminación de origen químico

1.6.3. Importancia de la desinfección del agua

1.6.4. Vigilancia de sistemas de abastecimiento de agua

- 1.7. La prestación del servicio de agua potable en Guatemala
- 1.8. Tipos de servicio de agua potable
 - 1.8.1. Servicio de agua potable por gravedad
 - 1.8.2. Servicio de agua potable por bombeo
- 1.9. Componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable
 - 1.9.1. Pozo mecánico
 - 1.9.2. Sistemas de desinfección
 - 1.9.3. Línea de conducción
 - 1.9.4. Almacenamiento/tanque de distribución
 - 1.9.5. Líneas de distribución
- 1.10. Desinfección
 - 1.10.1. Proceso y características de la desinfección
 - 1.10.2. Agentes desinfectantes
 - 1.10.3. Tipos de desinfección
 - 1.10.3.1. Desinfección con ozono
 - 1.10.3.2. Desinfección con UV
 - 1.10.3.3. Desinfección con hipoclorito de calcio
 - 1.10.3.4. Desinfección con gas cloro
 - 1.10.3.5. Desinfección con hipoclorito de sodio
- 1.11. Sistema de desinfección con hipoclorito de sodio
 - 1.11.1. Componentes de un sistema de desinfección con hipoclorito de sodio
 - 1.11.2. Dosificadores
 - 1.11.3. Funcionamiento de los dosificadores de hipoclorito de sodio
- 1.12. Enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada
- 1.13. Marco legal
 - 1.13.1. *Constitución Política de la República de Guatemala*
 - 1.13.2. *Código Municipal*

- 1.13.3. *Código de Salud*
- 1.13.4. *Reglamento de Normas Sanitarias para la Administración Construcción, Operación y Mantenimiento de los Servicios de Abastecimiento de agua para Consumo Humano*
- 1.13.5. *Reglamento para la Certificación para la Calidad del Agua para Consumo Humano en proyectos de Abastecimiento*
- 1.13.6. *Manual de Normas Sanitarias que Establecen los Procesos y los Métodos de Purificación de Agua para Consumo Humano*
- 1.13.7. Norma COGUANOR NGT 29001
- 1.14. Capacitación
 - 1.14.1. Tipos de capacitación
 - 1.14.1.1. Capacitación teórica
 - 1.14.1.2. Capacitación práctica
 - 1.14.2. Métodos de capacitación
 - 1.14.2. Material didáctico para capacitación

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

- 2.1. Entrevista la personal encargado de pozos
- 2.2. Toma de muestra de agua para análisis de laboratorio
- 2.3. Recolección de datos de cloro residual en distintos puntos de la red de distribución de agua potable

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Evaluación del sistema de desinfección
- 3.2. Evaluación de la calidad del agua
- 3.3. Propuesta de acciones para mejorar proceso de desinfección

- 3.4. Determinar la forma correcta de capacitación del personal encargado de la cloración y evaluación del conocimiento del personal encargado de los procesos de desinfección
- 3.5. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

Para el presente trabajo de investigación se exponen los siguientes tipos de clasificación: por el medio de obtención de datos que será en área de campo y datos documentales, será de tipo explicativa, debido a que se trata de determinar las causas de un mal proceso de desinfección. Se recolectará información para su análisis, por lo que será cualitativa, y no experimental porque no se realizará ningún control específico de variables ni su relación entre ellas.

9.2. Fases del estudio

Se describirán a continuación las cuatro fases del estudio.

9.2.1. Fase 1: referencias bibliográficas

En esta fase se hará referencia a todo tipo de bibliografía que esté relacionada con procesos de desinfección de agua, que se puedan utilizar para proponer un correcto sistema de desinfección que se adecúe a las características particulares de cada sistema de abastecimiento de agua en la cabecera municipal de Villa Canales.

9.2.2. Métodos y técnicas para la obtención de la fase de investigación

En esta fase se describirá los métodos de obtención de datos necesarios para poder realizar el diagnóstico del estado actual de los sistemas de desinfección, tablas que se utilizarán para recolección de datos, fórmulas a utilizar, técnicas adecuadas para la correcta obtención de muestras de agua para su análisis en laboratorio y cuestionarios para determinar la mejor manera para capacitar al personal involucrado en el proceso de desinfección. Lo anteriormente descrito servirá para lograr los objetivos de la investigación.

9.2.2.1. Etapa 1: lista de verificación de las características actuales de los sistemas de desinfección

En la siguiente tabla se describe la lista de verificación de las características actuales de los sistemas de desinfección:

Tabla VII. **Etapa 1: lista de verificación de las características actuales de los sistemas de desinfección**

Descripción de verificación	Nombre del sistema de abastecimiento de agua				
	Morancito	Morancito 2	Tuluja 1	Tuluja 2	Escamilla
Caudal que produce el pozo					
Presión en la tubería de conducción (en psi)					
Existe bomba dosificadora					

Continuación de la tabla VII.

Nombre del sistema de abastecimiento de agua					
Descripción de verificación	Morancito	Morancito 2	Tuluja 1	Tuluja 2	Escamilla
Presión máxima de inyección del clorinador (en psi)					
Estado actual de mangueras e inyector					
Estado de los depósitos de cloro El agua extraída va a un depósito o se inyecta directamente a la red de distribución.					
Si cuenta con depósito, cuál es su volumen					

Fuente: elaboración propia.

9.2.2.2. Etapa 2: entrevista el fontanero

Se realizará una entrevista para la obtención de datos importantes para el análisis de la situación actual de los sistemas de agua que abastecen la cabecera municipal de Villa Canales, y se determinarán las deficiencias de conocimientos y habilidades para la solución de problemas sencillos en el sistema de desinfección del agua.

El cuestionario de evaluación de conocimientos generales de fontaneros incluye las siguientes preguntas:

- ¿Cuántos años de edad tiene actualmente?
- ¿Cuál fue su último año de estudio?

- ¿Cuántos años tiene de laborar como fontanero en la municipalidad?
- ¿Tiene conocimiento de los equipos que conforman el sistema de extracción, bombeo y desinfección?
- ¿Sabe los datos técnicos de los pozos que están bajo su cargo?
- ¿Sabe identificar fallas potenciales antes de que estas causen daños a los sistemas de extracción, bombeo y desinfección?
- ¿Sabe qué es el hipoclorito de sodio?
- ¿Para qué se utiliza el hipoclorito de sodio?
- ¿Cómo es el funcionamiento del dosificador de cloro?
- ¿Cómo se calibra el dosificador de cloro?
- Si sabe identificar las fallas en el sistema de desinfección, mencione por lo menos tres.
- ¿Cómo se calibra la bomba dosificadora?
- ¿Sabe reparar mangueras e inyectores del sistema de desinfección del agua?
- ¿Sabe cómo manipular de forma segura el agente desinfectante?
- ¿Cuál es el equipo de protección personal adecuado para manipular hipoclorito de sodio?
- ¿Tiene conocimiento sobre cómo se mide el cloro residual en el agua?

9.2.2.3. Caracterización de la calidad del agua de la cabecera municipal

En esta etapa se tomarán las muestras de agua de los cinco sistemas de producción de agua, para establecer las características bacteriológicas y físicoquímicas en cada uno de estos. La obtención de la muestra se realizará de acuerdo a los procedimientos establecidos en la norma técnica guatemalteca COGUANOR NTG 29 006.

9.2.2.3.1. Preparaciones preliminares

A continuación se especifican los pasos necesarios para las preparaciones preliminares del proceso:

- El técnico que recolectará la muestra debe colocarse el equipo de protección personal antes de la toma de muestra.
- Identificación del recipiente en donde se colocará la muestra de agua con los datos: nombre del técnico, nombre del sitio de la toma de muestra, fecha y hora de la misma.

9.2.2.3.2. Procedimiento de toma de muestra

A continuación se describen los pasos para el procedimiento de la toma de muestra:

- Identificar el punto donde se tomará la muestra.
- Dejar correr el agua 1 o 2 minutos.
- Desinfectar la salida del agua con un algodón impregnado de alcohol a 70 %. Si la salida es metálica, flamearse con un encendedor.
- Dejar correr el agua nuevamente de 1 a 2 minutos a flujo continuo.
- Se procede al llenado del recipiente de 100 ml.
- Se procede a trasladar los recipientes a la hielera para evitar contacto con el ambiente, deben colocarse en forma vertical y acompañados con hielo, pero asegurarse de que no cubra la tapa.
- Se procede a destapar el recipiente de 1000 ml. Se llena un cuarto de su capacidad, se cierra, se agita vigorosamente y se descarta el agua del

recipiente. Se repite el procedimiento dos veces más para finalmente llenarlo y cerrarlo.

- Se traslada el recipiente a la hielera y se le coloca hielo, asegurándose que no cubra la tapa de frasco.
- Se procede al traslado de la muestra al laboratorio, donde se realizarán los análisis físicoquímicos y bacteriológicos.

9.2.2.3.3. Pasos para la medición del cloro residual, después del tanque de almacenamiento, con medidor de cloro libre digital

En este apartado se describen los pasos para la medición del cloro residual, esto después del tanque de almacenamiento, con medidor de cloro libre digital:

- Se toma una muestra en agua de 10 ml en la probeta que incluye el equipo de medición.
- Se enciende el medidor de cloro libre digital.
- Se inserta la muestra en el medidor y se realiza la primera medición.
- Cuando el medidor indique, se saca la muestra para agregar el reactivo a la misma, se agita y se inserta nuevamente al medidor.
- Se procede a realizar la segunda medición con el instrumento digital.
- Se espera 1 minuto para que el instrumento de medición de cloro libre muestre el resultado del análisis.

Tabla VIII. **Datos para la caracterización de los sistemas de agua de la cabecera municipal de Villa Canales**

Nombre del pozo	Concentración de cloro residual	Número más probable de E-Coli
Morancito 1		
Morancito 2		
Tuluja 1		
Tuluja 2		
Escamilla		

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Puntos de toma de muestra para análisis de cloro residual en la red de distribución de agua potable**

Nombre del pozo	Coordenadas punto 1	Coordenadas punto2	Coordenadas punto 3
Morancito 1			
Morancito 2			
Tuluja 1			
Tuluja 2			
Escamilla			

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Comparación de resultados de los análisis**

nombre del pozo	resultado de cloro residual en la muestra	LMA (mg/L) y LMP (mg/L)	resultado de coliformes totales en el agua	parámetro comparativo de coliformes totales y E coli en el agua
Morancito 1		0.5-1.0		no detectable en 100 ml de agua
Morancito 2		0.5-1.0		no detectable en 100 ml de agua
Tuluja 1		0.5-1.0		no detectable en 100 ml de agua
Tuluja 2		0.5-1.0		no detectable en 100 ml de agua
Escamilla		0.5-1.0		no detectable en 100 ml de agua

Fuente: elaboración propia, con base en Normas COGUANOR NTG 29001.

9.2.3. Fase 3: propuesta de acción para las mejoras de los sistemas de desinfección

Las recomendaciones servirán para que los sistemas de cloración funcionen de manera más eficiente, para que se garantice el cumplimiento de los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud, en cuanto a la desinfección del agua, con base en la regulación de la Norma COGUANOR 29001.

Se debe cuantificar la cantidad de cloro que consumen los sistemas de desinfección para realizar un presupuesto que garantice el suministro de cloro. También es útil implementar un plan de mantenimiento a los sistemas de desinfección en cada uno de los pozos. Además, es necesario elaborar un

cronograma para la medición de cloro residual en los puntos de control en la red de distribución de agua, y, por último, colocar equipos dosificadores de cloro adecuados a la presión y caudal en la tubería de conducción, que sean capaces de inyectar cloro de manera constante, y en dosis adecuadas, en la tubería de conducción.

9.2.4. Fase 4: determinación de la forma correcta de capacitar al personal encargado de la cloración en los pozos municipales de la cabecera del municipio de Villa Canales

A través de la encuesta realizada en la fase 1, se podrá determinar los métodos más adecuados para la capacitación de los fontaneros encargados de cada sistema de desinfección.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Al obtener los datos se procederá a realizar el análisis de la información obtenida, comparándola con estándares normados que se deben cumplir para la desinfección del agua. Tomando como base estos resultados se analizarán las causas o deficiencias en el proceso de desinfección que no permiten cumplir los parámetros de desinfección en el agua potable, para proponer acciones que corrijan las deficiencias o causas identificadas. Esto se realizará mediante el uso de las siguientes herramientas:

- Tablas de parámetros que se deben cumplir para la desinfección del agua.
- Tabla de datos técnicos de las bombas de inyección de cloro.
- Resultados de los análisis de laboratorio para su comparación.
- Cronogramas de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de desinfección.
- Análisis presupuestario para la determinación del costo de mantenimiento de los sistemas de desinfección y capacitación anual de los fontaneros encargados.

Las herramientas estadísticas a utilizar serán:

- Gráficos de barras que ilustren el contenido de cloro residual a medida que el punto de muestreo se aleja del sistema de desinfección.
- Gráficos de barras para ilustrar las deficiencias más comunes que presentan los fontaneros como oportunidades de mejora mediante la capacitación.

- Gráfica de análisis de interpretación de tendencia.

11. CRONOGRAMA

Tabla XI. Cronograma de actividades

No.	Actividad	mes 1				mes 2				mes 3				mes 4				mes 5				mes 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Obtencion de informacion general de la Institucion	■	■	■	■																				
2	Elaboracion del protocolo		■	■	■	■	■																		
3	toma de datos en campo					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
4	analisis e interpretacin de resultados de laboratorio																■								
5	Formulacion de resultados																■	■	■						
6	capacitacion de fontaneros																	■	■	■					
7	Redaccion e impresi3n final del trabajo de tesis																	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: elaboraci3n propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la realización del presente trabajo de investigación se han enlistado los recursos necesarios con los que se debe contar para el desarrollo de las actividades y los costos asociados:

Tabla XI. **Recursos necesarios para la investigación**

Recursos		Costos en (q)
Honorarios del asesor		Q 2,500.00
Análisis de laboratorio		Q 1,500.00
Material y equipo de oficina		Q 1,000.00
Transporte		Q 400.00
Reactivos para análisis de cloro residual		Q 200.00
Material para recolección de muestras de agua		Q 100.00
Total		Q 5,700.00

Fuente: elaboración propia.

Al analizar los costos relacionados a la investigación se considera que es factible su realización.

13. REFERENCIAS

1. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2021). *Desinfección de agua potable en situaciones de emergencia*. Madrid, España: Gobierno de España. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/espanol/desinfeccion-de-agua-potable-en-situaciones-de-emergencia>.
2. Arreaga, J. (2017) *Propuesta de un plan municipal para el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable para las zonas 4, 5, y 10 del municipio de Villa Nueva* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
3. Castillo, P. (2017). *Calidad y potabilidad del agua de consumo de las fuentes de abastecimiento y almacenamiento de la Aldea La Soledad, Acatenango, Chimaltenango* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
4. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (1983). *Desinfección de agua en abastecimientos rurales*. Lima, Perú: CEPIS.
5. Funcagua. (2020). *Funcagua contaminación*. Ciudad de Guatemala: Funcagua. Recuperado de <https://funcagua.org.gt/contaminiacion/>
6. Melgar, P. (2018) *Calidad y potabilidad del agua de consumo de las fuentes de abastecimiento y almacenamiento de La Aldea la*

Soledad, Acatenango, Chimaltenango (tesis de licenciatura).
Universidad Mariano Gálvez, Guatemala.

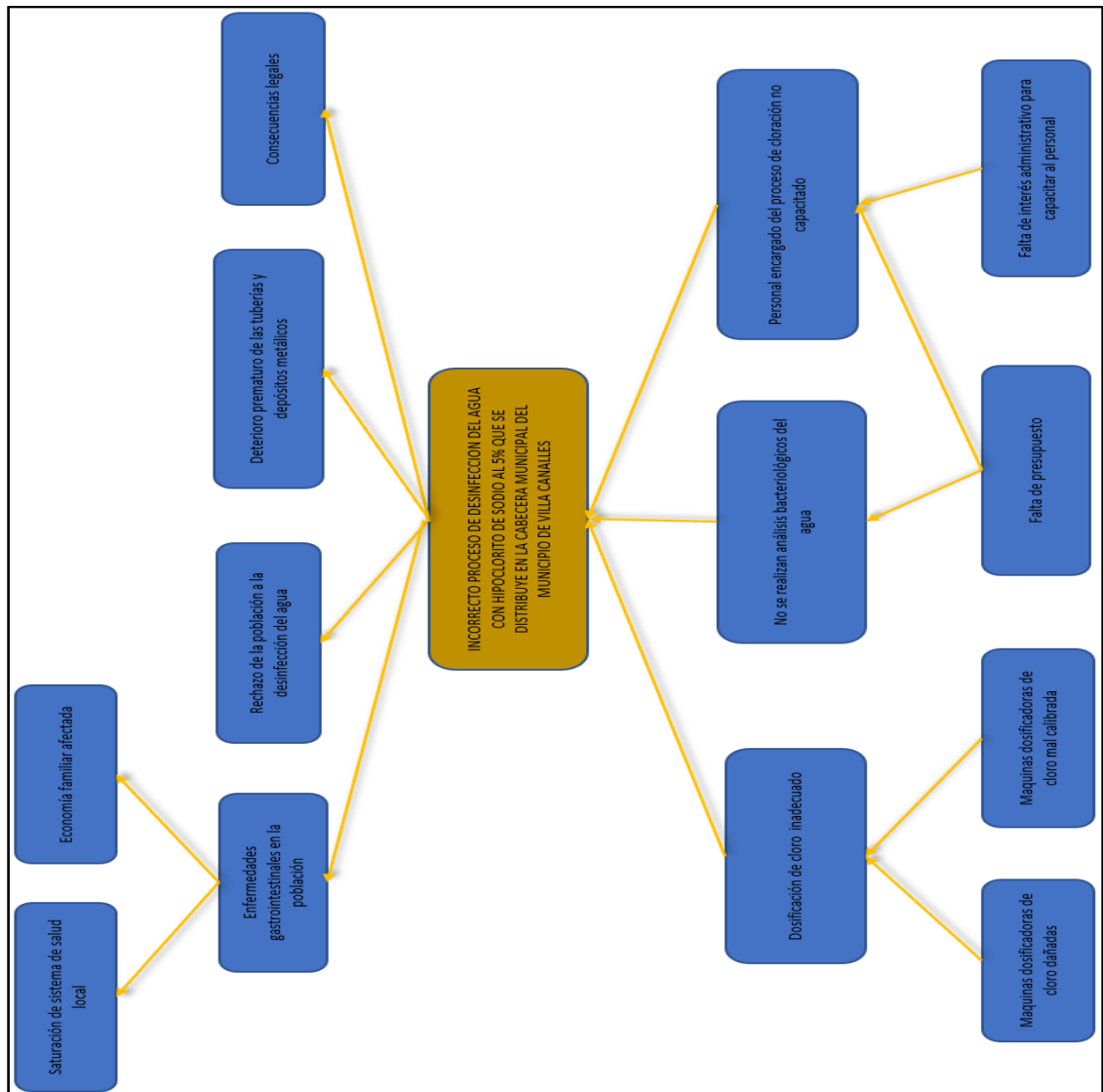
7. Ministerio de Trabajo y Previsión del Empleo. (2008). Herramientas metodológicas. Lima, Perú: Mitrape. Recuperado de http://www.trabajo.gob.pe/archivos/file/publicacionesdnpefp/Herramientas_metodologicas.pdf
8. Morales, F. (2017) *Mejoramiento de la calidad del agua, mediante un diseño de filtración lenta, para el casco urbano del municipio de San Rafael Las Flores, Santa Rosa* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
9. Organización Panamericana de la Salud. (1996). *La desinfección del agua*. Nueva York, Estados Unidos: OPS.
10. Palma, F. (2015) *Servicio de agua, saneamiento básico y su relación con los objetivos de desarrollo del milenio. Estudio de caso: Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
11. Pérez, M. (4 de octubre, 2021). *Concepto definición*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://conceptodefinicion.de/capacitacion/>
12. Pinto, R. (2012) *Planeación estratégica de capacitación*. México D.F.: McGraw-Hill.
13. Ponce, E. (2005). *Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada*. Puebla, Cholula, México:

Universidad de Las Américas. Recuperado de [http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos /lic/ponce_o_e/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/)

14. Ramírez, F. (4 de octubre, 2021). *El agua potable* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.elaguapotable.com/>
15. Salguero, S. (2016). *Sistema de gestión de la calidad del agua que consume la población urbana del municipio de el progreso, Jutiapa, basado en la metodología del plan de seguridad para calidad del agua de la OMS* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
16. Santos, L. (2017). *Análisis de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua del pozo que distribuye a una colonia de la zona 2 de Boca del Monte, Villa Canales, Guatemala* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
17. Solares, J. (2017). *Propuesta de un plan municipal para el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable para las zonas 4, 5, y 10 del municipio de Villa Nueva, Guatemala* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
18. Solsona, F. y Méndez, J. (2002). *Desinfección del agua*. Lima, Perú: Autor.

14. APÉNDICE

Apéndice 1. Árbol de problemas



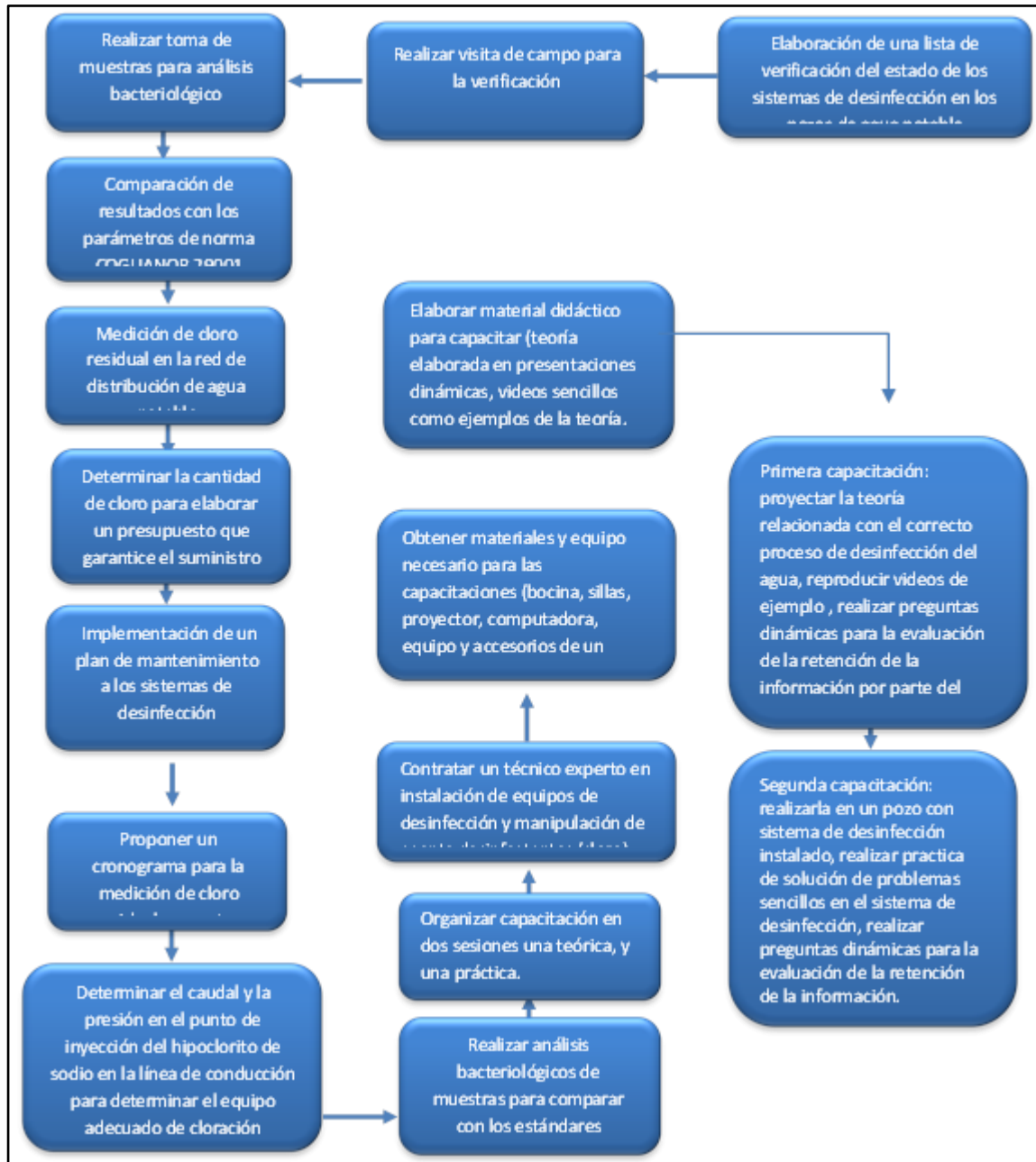
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Problema Principal	Preguntas de Investigación	Objetivos de la investigación	Justificación	Plan de investigación o Plan acción
INCORRECTO PROCESO DE DESINFECCION DEL AGUA CON HIPOCLORITO DE SODIO AL 5% QUE SE DISTRIBUYE EN LA CABECERA MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE VILLA CANALLES	<p>Pregunta principal</p> <p>¿Cuál es el correcto proceso de desinfección de la cabecera municipal del municipio de Villa Canales?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Definir un correcto proceso de desinfección del agua en la cabecera municipal de Villa Canales</p>	<p>Con el presente trabajo de investigación se tiene como aporte principal la mejora en la calidad del agua potable que se distribuye en la cabecera municipal de Villa Canales y la disminución de enfermedades causadas por presencia de bacterias en el agua potable nocivas para la salud.</p>	<p>Para la realización del presente trabajo de investigación es necesario que realicemos un diagnóstico de los sistemas de desinfección para poder establecer las causas que ocasionan una mala desinfección del agua tomaremos muestras de agua para su análisis en laboratorio y evaluar la calidad del agua, se propondrán puntos estratégicos para la medición de cloro residual en la red de distribución de agua potable en la cabecera municipal, propondremos un plan de mantenimiento para los sistemas de desinfección, partiendo del análisis de los datos obtenidos, realizaremos propuestas de acciones que la municipalidad deberá de implementar para garantizar un correcto proceso de desinfección, además se determinara una correcta capacitación que garantice que el personal encargado del sistema de desinfección del agua pueda retener la información dada y lo puedan poner en práctica.</p>
	<p>Preguntas específicas</p> <p>¿Cuál es el estado actual del sistema de desinfección de agua potable de la cabecera municipal de Villa Canales?</p> <p>¿cuál es la calidad del agua que se distribuye en la cabecera municipal de Villa Canales?</p> <p>¿Qué acciones debe realizar la municipalidad para garantizar la correcta dosificación del agua?</p> <p>¿Cuál es la forma correcta de capacitación del personal encargado de la cloración de los pozos municipales de la cabecera del municipio de Villa Canales</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Evaluación del sistema de desinfección de agua potable de la cabecera municipal de Villa Canales</p> <p>Evaluación de la calidad del agua que se distribuye en la cabecera municipal en el municipio de villa canales.</p> <p>Proponer acciones que la municipalidad debe de implementar para mejorar el proceso de desinfección del agua.</p> <p>Determinar la forma correcta de capacitación del personal encargado de la cloración de los pozos municipales de la cabecera del municipio de villa canales</p>	<p>Como resultados de la investigación se obtendrán un diagnóstico del estado físico y de operación de los sistemas de desinfección en los distintos pozos de agua que abastecen la cabecera municipal, se obtendrán datos del caudal que producen cada uno de los pozos y presiones en la tubería de conducción, se obtendrán análisis bacteriológicos del agua potable que se distribuye, se propondrá un plan de capacitación adecuada para el personal encargado del proceso de desinfección, se elaborara un plan de muestreo en puntos estratégicos para el monitoreo constante del cloro residual en el agua potable en la red de distribución, se eficientizara la desinfección del agua potable.</p> <p>Los beneficios que obtendrán los vecinos de la cabecera municipal de Villa Canales serán: la disminución en las enfermedades causadas por bacteria presentes en el agua potable, la economía familiar no se verá afectada por gastos innecesarios por atención médica y compra de medicinas necesarias para la recuperación por enfermedades relacionadas con bacterias presentes en el agua que se ingiere. la municipalidad de Villa Canales tendrá certeza de la correcta desinfección del agua potable que se distribuye, evitando sanciones por parte del ministerio de salud por no cumplir con los entandares establecidos de una correcta desinfección del agua.</p>	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Plan de actividades



Fuente: elaboración propia.