



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

**COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA BIOCIDA Y ECONÓMICA PARA EL CONTROL DE
LARVAS DE *Aedes aegypti* PORTADOR DEL VIRUS DEL DENGUE (*Flavivirus flaviviridae*)
Y CHIKUNGUÑA (*Chikungunya*), ENTRE LARVICIDA TRADICIONAL Y CLORO**

Luis Gustavo Ardiano Reinoso

Asesorado por el Ing. Edgar Armando Barillas Rodas

Guatemala, abril de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA BIOCIDA Y ECONÓMICA PARA EL CONTROL DE LARVAS DE *Aedes aegypti* PORTADOR DEL VIRUS DEL DENGUE (*Flavivirus flaviviridae*) Y CHIKUNGUÑA (*Chikungunya*), ENTRE LARVICIDA TRADICIONAL Y CLORO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS GUSTAVO ARDIANO REINOSA

ASESORADO POR EL ING. EDGAR ARMANDO BARILLAS RODAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIA	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:

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA BIOCIDA Y ECONÓMICA PARA EL CONTROL DE LARVAS DE *Aedes aegypti* PORTADOR DEL VIRUS DEL DENGUE (*Flavivirus flaviviridae*) Y CHIKUNGUÑA (*Chikungunya*), ENTRE LARVICIDA TRADICIONAL Y CLORO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 24 de julio de 2015.



Luis Gustavo Ardiano Reinoso

Guatemala, 1 de septiembre de 2017

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi.
Director
Escuela de Ingeniería Química.
Facultad de Ingeniería
USAC

Respetable Señor Director

Me dirijo a usted para informarle que a la presente fecha he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado: **“COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA BIOCIDA Y ECONÓMICA PARA EL CONTROL DE LARVAS DE *Aedes Aegypti* PORTADOR DEL VIRUS DEL DENGUE (*Flavivirus flaviviridae*) Y CHIKUNGUÑA (*Chikungunya*), ENTRE LARVICIDA TRADICIONAL Y CLORO**”, del estudiante universitario LUIS GUSTAVO ARDIANO REINOSA con el carné No. 2174121220101 y registro académico No. 201025380, de quien estoy fungiendo como ASESOR. Siendo que los aspectos metodológicos del trabajo en cuestión llenan los requisitos técnicos que ameritan su aprobación, sirva la presente para patentizarlo a efecto de que se autorice el trabajo realizado y se proceda a continuar con los trámites subsiguientes.

Sin más por el momento, me suscribo de usted.



EDGAR ARMANDO BARILLAS RODAS

Ing. Químico, colegiado 291

Edgar A. Barillas R.
Ing. Químico
Colegiado activo 291



Guatemala, 03 de noviembre de 2017.
Ref. EIQ.TG-IF.048.2017.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **044-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Luis Gustavo Ardiano Reinosá**.
Identificado con número de carné: **2010-25380**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA BIOCIDA Y ECONÓMICA PARA EL CONTROL DE LARVAS DE *Aedes Aegypti* PORTADOR DEL VIRUS DEL DENGUE (*Flavivirus flaviviridae*) YCHIKUNGUÑA (*Chikungunya*), ENTRE LARVICIDA TRADICIONAL Y CLORO

El Trabajo de Graduación es asesorado por el Ingeniero Químico: **Edgar Armando Barillas Rodas**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.007.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **LUIS GUSTAVO ARDIANO REINOSA** titulado: **“COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA BIOCIDA Y ECONÓMICA PARA EL CONTROL DE LARVAS DE *Aedes aegypti* PORTADOR DEL VIRUS DEL DENGUE (*Flavivirus flaviviridae*) Y CHIKUNGUÑA (*Chikungunya*), ENTRE LARVICIDA TRADICIONAL Y CLORO”** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero 2018

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Cc: Archivo
C.SWD/kdlq

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.102.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA BIOCIDA Y ECONÓMICA PARA EL CONTROL DE LARVAS DE Aedes aegypti PORTADOR DEL VIRUS DEL DENGUE (Flavivirus flaviviridae) Y CHIKUNGUÑA (Chikungunya), ENTRE LARVICIDA TRADICIONAL Y CLORO**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Gustavo Ardiano Reinoso**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, abril de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Rosa Amelia Reinoso y Gustavo Ardiano Fuentes. Por su amor, entrega, enseñanzas y lecciones de vida.

Mis hermanos

María Gabriela, Víctor Hugo, José Manuel y Jorge Mario. Por su cariño en cada etapa de mi vida.

Mis tíos

Erick De León, Ana María, Alcira Angélica, Cándido Orlando, Glenda Corina, Ricardo Leonel y Elida Luz. Por su influencia en mi vida y en mi carrera.

Mis amigos

Andrés Barillas, Cindy Pérez, Guido Barillas, Miguel Morán, Marybeth Rodríguez, Andrea Morales, Mariela Juárez, Andrea Velásquez, Rodrigo Villagrán, Antonio Paz, Xara Paz, Paola Méndez, Juan José Calderón, Fernando Ponce, Ricardo Valenzuela. Por su compañía en mi vida, aventuras y experiencias.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa que me demostró el valor del conocimiento.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos y herramientas para mi desarrollo personal.
Mis amigos de la Facultad	Mónica Rodríguez, Gustavo López, Douglas García, Isaac Velásquez, Pedro Sandoval, Mario Espinoza, Nahum Álvarez, Rodolfo Miranda, Omar Ramírez, Nathalie López, Karol Esquit, Jenny Ojer, Erick Bautista, Carlos Valenzuela, Rocael Joachin, Josué Scott y demás amigos de San Marcos.
Familia Barillas Quezada	Por su apoyo, paciencia y ser una importante influencia en mi carrera.
Ing. Armando Barillas	Por su amistad, experiencias y conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Calidad del agua.....	3
2.2. Cloración	4
2.2.1. Sistema cloro gaseoso (Cl ₂).....	7
2.2.2. Sistema con hipoclorito de calcio (Ca(OCl) ₂)	9
2.2.3. Sistema con hipoclorito de sodio (NaOCl)	10
2.3. Agentes patógenos que se transmiten por el agua	12
2.4. Dengue	12
2.5. Chikunguña	13
2.6. El mosquito <i>Aedes aegypti</i>	13
2.7. Larvicida	16
2.7.1. Larvicida Temefos	16
2.8. Reducción del dengue en los objetivos del desarrollo del milenio	18

3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Variables	21
3.1.1.	Variables independientes	21
3.1.2.	Variables dependientes	22
3.2.	Delimitación de campo de estudio	22
3.3.	Recursos humanos disponibles	22
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos).....	23
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	23
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	24
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	25
3.8.	Análisis de la información.....	26
3.8.1.	Análisis cuantitativo	26
3.8.2.	Análisis cualitativo	27
4.	RESULTADOS.....	29
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	33
	CONCLUSIONES.....	37
	RECOMENDACIONES	39
	BIBLIOGRAFÍA.....	41
	APÉNDICES	43
	ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Desinfección utilizando cloro gaseoso	9
2.	Ciclo de vida de <i>Aedes aegypti</i>	14
3.	Estructura química del Temefos.....	17

TABLAS

I.	Características químicas que debe tener el agua para consumo humano	4
II.	Propiedades físicas y químicas cloro gaseoso (Cl_2).....	8
III.	Propiedades físicas y químicas hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$).....	10
IV.	Propiedades físicas y químicas hipoclorito de sodio (NaOCl)	11
V.	Clasificación de agentes patógenos.....	12
VI.	Dosis para la aplicación de Temefos al 1 % (Abate) en una concentración de una parte por millón (1 ppm).	18
VII.	Variables independientes.....	21
VIII.	Variables dependientes.....	22
IX.	Potabilidad del agua para distintos puntos de muestreo	29
X.	Cantidad de cloro agregado para cada concentración utilizada.....	29
XI.	Comportamiento de larvas de <i>Aedes aegypti</i>	30
XII.	Desarrollo de larvas de <i>Aedes aegypti</i> para medios previamente clorados y no clorados	30
XIII.	Comparación económica de los sistemas de cloración y larvicida Temefos	31

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ppm	Partes por millón
mg/L	miligramo por litro
°C	Grados Celsius
°F	Grados Farenheith
gal	Galones
gpm	Galones por minuto
g	Gramos
h	Horas
L	Litro
ml	Mililitro
pH	Potencial de hidrógeno
Q	Quetzal (moneda guatemalteca)
t	Tiempo
%	Porcentaje

GLOSARIO

Agua potable	Es aquella que cumple con las características de calidad especificadas en la norma COGUANOR NGO 29 001, es adecuada para el consumo humano de cualquier población.
Alcalinidad	Tendencia a liberar un par de electrones o a aceptar un protón de un donante. En soluciones acuosas, el pH es una medida de la alcalinidad, así, una solución alcalina es aquella en la cual la concentración de hidrógeno es menor que la del agua pura a la misma temperatura, y el pH es mayor que siete.
Acidez	Tendencia a liberar un protón o a aceptar un par de electrones de un donante. En soluciones acuosas, el pH es una medida de la acidez, así, una solución ácida es aquella en la cual la concentración de hidrógeno excede a la del agua pura a la misma temperatura, y el pH es menor que siete.
Calidad del agua	Término vinculado con aquellas características físicas, químicas y biológicas, por medio de las cuales puede determinarse si el agua es adecuada o no para el uso al que se le destina.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.

Eficacia	Capacidad para producir el efecto deseado o de ir bien para determinada cosa.
Larvicida	Sustancia química que se emplea para matar larvas de los parásitos.
LMA	Límite máximo aceptable.
LMP	Límite máximo permisible.
Mosquito	Insecto de la familia de la mosca, pero más pequeño, de cuerpo muy fino de color oscuro, con seis patas muy largas y dos alas transparentes con cuyo movimiento produce un agudo zumbido.

RESUMEN

La comparación de la eficiencia biocida y económica para el control de larvas de *Aedes aegypti* se realizó en el municipio de Palín, Escuintla. Se determinó la potabilidad de muestras de agua las cuales corresponden a tres sistemas de cloración siendo estos cloro gaseoso (Cl_2), hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, hipoclorito de sodio (NaOCl). Se determinó la cantidad de cloro por utilizar para diferentes concentraciones tomando como base el límite máximo permisible. La potabilidad del agua y los límites máximos permisibles fueron tomados según la norma COGUANOR NGO 29 001.

Se monitoreó el comportamiento de larvas de *Aedes aegypti* durante 48 horas, agregando cinco (5) larvas a cada una de las pilas de estudio midiendo previamente el cloro residual presente en distintas concentraciones. Esto se realizó con el objeto de observar si las larvas sobrevivían a medios con presencia de cloro. El poder bactericida del cloro sobre las larvas de *Aedes aegypti* fue negativo.

Se observó durante 14 días en cajas de Petri y vasos plásticos de 500 ml para determinar si existía o no el desarrollo de larvas de *Aedes aegypti* para medios en los cuales el cloro residual estaba presente con 0, 0,5 y 1 ppm. Para los medios en los cuales existía presencia de cloro, la incubación de los huevecillos de mosquito fue negativa. En los recipientes de agua en los cuales la presencia de cloro era nula la proliferación de larvas de *Aedes aegypti* fue positiva.

La comparación de la eficiencia económica se realizó en base al costo de la aplicación por gramo del larvicida Temefos con una residualidad de 60 días siendo este de Q. 0,045 quetzales, lo cual es para un volumen de 10 L. Para un tonel de 55 galones corresponde Q. 0,90. La aplicación de cloro para mantener una concentración de 1 ppm durante la misma cantidad de días es de Q. 211,20 para el cloro gaseoso; (Cl_2), Q. 600,00, para el hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ y Q 50,4 para el hipoclorito de sodio (NaOCl).

OBJETIVOS

General

Determinar la eficacia y eficiencia de cloro como agente capaz de eliminar larvas de mosquitos del tipo *Aedes aegypty* en pilas y recipientes utilizados como reservorios de agua.

Específicos

1. Encontrar la concentración a la cual es aplicable el cloro en recipientes de agua para eliminar larvas.
2. Determinar la efectividad del poder bactericida del cloro en larvas de *Aedes aegypt.*
3. Comparar el costo económico de la aplicación del larvicida tradicional y cloro para eliminar larvas de mosquito.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua para consumo humano debe cumplir con los parámetros establecidos en la Norma COGUANOR NGO 29001, ya que a través de la potabilización de esta se puede mitigar la proliferación de vectores del mosquito *Aedes aegypti*.

Determinar una concentración para obtener la mortalidad de larvas de *Aedes aegypti* en recipientes de agua, aun si esta excede el límite máximo permisible no es objeto de estudio de esta tesis, debido a que el agua por tratar es para consumo humano.

Esta tesis se fundamenta en un análisis cualitativo el cual depende de los datos numéricos obtenidos en la observación del comportamiento de larvas de *Aedes aegypti* en medios con presencia de cloro residual, ya que no habiendo antecedentes teóricos ni estadísticos se presenta la oportunidad de establecer parámetros en base a los datos obtenidos. Se aclara que la información presentada se analizó en base inferencias lógicas y observación científica, proceso con el cual se da paso a un nuevo conocimiento.

En las técnicas utilizadas para la comprobación de la hipótesis y los objetivos de la investigación se utilizó la observación científica para analizar el desarrollo de larvas *Aedes aegypti* para medios previamente clorados y no clorados.

La comparación económica toma como base el tiempo de residualidad del larvicida Temefos y relaciona los sistemas de cloración a los cuales se tuvo

alcance en este estudio, siendo estos cloro gaseoso, hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio.

1. ANTECEDENTES

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que 663 millones de personas no tienen acceso a agua potable mejorada en todo el mundo, esto representa un aumento en la vulnerabilidad de las poblaciones a enfermedades infecciosas por bacterias que se encuentran en el agua, siendo este un riesgo directo para la salud.¹

Debido a las grandes epidemias originadas por la contaminación del agua se ha buscado la necesidad de un tratamiento que garantice el uso y consumo humano del agua.

La cloración del agua es una tecnología implementada para la desinfección y eliminación de microorganismos considerados patógenos; se considera que es el mejor desinfectante utilizado en aguas. Fue utilizado en Inglaterra en 1854 para combatir el virus del cólera que afectaba como epidemia a ese país. En 1792 fue descubierto el cloro como hipoclorito cálcico, fue utilizado hasta 1897 en Inglaterra como antiséptico y desinfectante tras la epidemia de fiebre tifoidea.

El dengue es una infección vírica transmitida por mosquitos del tipo *Aedes aegypti*, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la mitad de la población en el mundo corre el riesgo de contraer esta enfermedad siendo más vulnerables en lugares tropicales y subtropicales del mundo. La fiebre

¹ Organización Mundial de la Salud, 2015.

Chikungunya es una enfermedad vírica transmitida al ser humano por mosquitos del tipo *Aedes aegypti* infectados.²

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que 80 millones de personas se infectan anualmente, y cerca de 550 mil enfermos necesitan de hospitalización, 20 mil mueren como consecuencia del dengue, más de 2 500 millones de personas están en riesgo de contraer la enfermedad y más de 100 países tienen transmisión endémica. Se estima que para 2085 el cambio climático pondrá a 3 500 millones de personas en riesgo.

Actualmente, no hay evidencia significativa de algún estudio científico que compare directamente el poder bactericida del cloro y el larvicida de uso tradicional en el Ministerio de Salud, para evitar el desarrollo de mosquitos del tipo *Aedes aegypti*.

² Organización Mundial de la Salud, 2014.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Calidad del agua

La calidad del agua para consumo humano y uso doméstico incluyendo la higiene personal se regula en la norma “COGUANOR NGO 29 001”³, la cual define las características del agua potable.

La norma establece el límite máximo aceptable (LMA) como el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual puede ser rechazada para consumir, ya que puede implicar un daño a la salud. El límite máximo permisible (LMP) es la concentración característica, arriba de la cual no es adecuada para el consumo humano.

Para interés de este estudio la Norma COGUANOR NGO 29 001 establece el límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre. En los puntos más alejados del sistema de distribución de agua es de 0,5 mg/L utilizando este como base, debido que al haber mayor concentración de cloro en el agua esta cambia de sabor y olor, lo cual puede inferir en el uso o descarte del agua para el ser humano.

³ COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS -COGUANOR- NGO 29001.

Tabla I. **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 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 en concentraciones superiores al LMA.

Fuente: http://www.ada2.org/sala-prensa/publicaciones/doc_view/28-coguanor-29001-99.

Consulta: 29 de abril 2017.

2.2. Cloración

El objetivo principal de la aplicación de cloro en el agua es la destrucción de organismos patógenos debido al poder bactericida que tiene. El cloro en el agua influye directamente en la reducción del mismo con metales como hierro y manganeso o sulfuros, incluso reduciendo sustancias de olor y sabor agregando iones de cloruro. El cloro en agua también afecta el crecimiento de algas y otros microorganismos.

Si el agua por tratar contiene amoníaco o sales de amonio, incluso materia orgánica, esta generará compuestos orgánicos clorados. Para evitar la reducción o combinación del cloro se debe agregar en exceso para obtener cloro libre en el agua o cloro libre residual el cual garantiza que todo el cloro ha reaccionado en el agua. Así actúa, como agente desinfectante capaz de eliminar los microorganismos que se encuentren en el agua.

La desinfección del agua utilizando cloro es un método que garantiza que el agua sea apta para consumo humano, es decir, agua potable. La cloración del agua ha generado mucha controversia sobre si daña o no la salud, pero no existen evidencias claras para admitir que la formación de compuestos por la presencia de cloro sea dañina para la salud. Esto se cumple solo si la dosis es la adecuada, si la dosis es grande puede provocar la muerte. El cloro es aplicable debido a su bajo costo y disponibilidad en el área rural donde el acceso al agua potable es muy escaso, al no existir redes de distribución.

La desinfección con cloro constituye una barrera eficaz para eliminar agentes patógenos, esta desinfección en el agua aplica a aguas subterráneas expuestas a contaminación fecal o aguas superficiales contaminadas.

La vigilancia en la operación del funcionamiento de sistemas de cloración implica parámetros como el cloro residual, pH y turbidez. La ausencia de bacterias indicadoras fecales (*Escherichia coli* o bacterias coliformes) es un parámetro de vigilancia, aunque existen agentes patógenos que soportan la desinfección con cloro.

Entre los factores que inciden en la desinfección y tratamiento del agua con cloro, se encuentran:

- pH del agua.
- Naturaleza, concentración y distribución de los organismos, la cantidad de metales disueltos.
- Temperatura.

En la cloración del agua y su desinfección se debe controlar:

- La naturaleza y concentración del desinfectante (gas, líquido y sólido)
- El tiempo de acción entre cloro y microorganismos
- Mezclado agua-cloro

Una cloración correcta involucra una homogenización del cloro en el agua y así hace que esta cumpla con las normas de presencia de microorganismos, a una concentración de 0,1 a 0,2 ppm de cloro libre residual en el agua. Se puede percibir, mediante su sabor, aunque puede ser afectado de manera directa si es mayor la dureza del agua y la temperatura. Utilizando carbón activado se puede tratar el cloro en el agua.

La naturaleza, concentración y distribución de los organismos nitrogenados disueltos en el agua harán que el cloro sea reducido debido a que es consumido o reaccionado. El hierro y el manganeso pueden cambiar el olor, color y sabor del agua. El hierro puede también causar manchas rojizas-café en platos, utensilios, vasos, accesorios de plomería y concreto. El manganeso causa manchas café-negras en los mismos materiales. Los grandes depósitos de hierro y manganeso pueden acumularse en las tuberías, tanques de presión, equipos ablandadores de agua, etcétera. Lo anterior ocasiona problemas en los sistemas de bombeo debido a la reducción de presión.

El amoníaco suele mezclarse con el cloro en los sistemas de tratamiento de aguas formando así cloraminas. Estas controlan los problemas de sabor y de olor causados por la reacción del cloro con otros compuestos nitrogenados del agua. Dado que las cloraminas son menos eficaces como bactericidas se agrega cloro en exceso para asegurar la existencia de cloro en forma de ácido hipocloroso.

Los sólidos en suspensión sirven como barrera para proteger los microorganismos del cloro, debido a eso la filtración es una parte fundamental antes de agregar el cloro.

2.2.1. Sistema cloro gaseoso (Cl₂)

En los sistemas especiales de abastecimiento el gas se inyecta a altas presiones, esto hace que las tecnologías generen problemas en su manipulación, además el cloro gaseoso es altamente corrosivo y tóxico. Las salas en donde se encuentre el equipo de cloración con gas deben ser lugares ventilados, evitando la posibilidad de congelación. La cantidad de cilindros de gas por utilizar está en función de la cantidad de agua que se va a tratar. Todo el equipo no debe estar expuesto a luz solar ni a sobrecalentamientos.

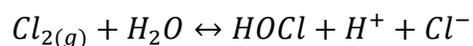
Tabla II. **Propiedades físicas y químicas cloro gaseoso (Cl₂)**

Apariencia, olor y estado	Gas amarillo cenizo de olor irritante
Gravedad específica	1,4/20°C 1,57/-40°C
Punto de ebullición (°C)	-34,6
Punto de fusión (°C)	-105,5
Densidad relativa de vapor	2,5
Presión de vapor (mmHg)	4 785/20°C
Viscosidad (cP)	0,385 0°C, líquido
pH:	-
Solubilidad	Ligeramente soluble en agua fría(reacciona), Soluble en cloruros, alcoholes y alcalis

Fuente: CISPROQUIM, *Hoja de seguridad cloro*. www.ccs.org.co/cispro.php. Consulta: 30 abril de 2015.

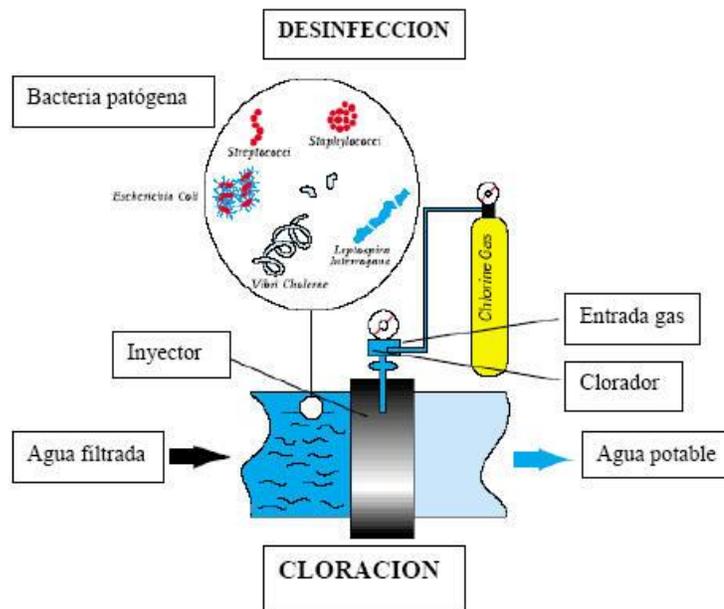
En Guatemala, más de tres millones de personas en el área rural no cuentan con acceso al agua potable; la instalación de un equipo de cloro gaseoso es de un costo elevado, además, de que se necesita de controles y mantenimientos estrictos en la manipulación de este equipo.

Al agregar el cloro gaseoso al agua se desarrolla la reacción:



El ion hidronio (H^+) que se forma como producto de la mezcla de cloro y agua acidifica el medio, así también el ácido hipocloroso ($HOCl$). Esta molécula es la que actúa como bactericida en el agua.

Figura 1. **Desinfección utilizando cloro gaseoso**



Fuente: *Cloración*. www.elaguapotable.com/clorac7.jpg. Consulta: 30 abril de 2015.

Entre los sistemas de cloración en sistemas de abastecimiento que existen en Guatemala se encuentra el cloro gaseoso (Cl_2), hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) en sólido y el hipoclorito de sodio (NaOCl) en líquido.

2.2.2. Sistema con hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$)

Se comercializa como polvo blanco seco. El porcentaje de cloro total disponible oscila entre 60-100 %; puede encontrarse también en tabletas o pastillas, es de mayor precio que el cloro líquido (hipoclorito de sodio). Su manipulación debe hacerse en gránulos para disolverse fácilmente en el agua. Durante su almacenamiento pierde parte de su actividad haciendo que al agregarse al agua cristalice y dañe equipos como bombas o incluso tuberías.

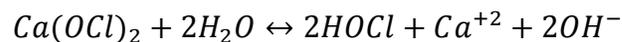
Tabla III. **Propiedades físicas y químicas hipoclorito de calcio (Ca(OCl)₂)**

Apariencia, olor y estado:	Polvo blanco, olor a cloro, sólido
Punto de ebullición (°C)	-34,6
Concentración	65 %
Temperatura de descomposición	177°C
Densidad	0,80g/cm ³ 20°C
pH:	10,4 a 11- solución 14 %
Solubilidad:	Soluble en agua a 25°C(18 %)

Fuente: Grupo Transmerquim GTM. *Hoja de seguridad hipoclorito de calcio*.
<http://www.gtm.net/images/industrial/h/HIPOCLORITO%20DE%20CALCIO.pdf>. Consulta: 30
 abril 2015.

Los equipos con cloro gaseoso son sustituidos por los equipos de hipoclorito de calcio por el menor riesgo que implica utilizarlos.

Las pastillas que se agregan al agua para ser disueltas generan la reacción:



Provocando que el pH sea ácido por la formación de iones de hipoclorito.

2.2.3. Sistema con hipoclorito de sodio (NaOCl)

El hipoclorito (lejía) suele conseguirse en porcentajes de cloro útil de 12 % a 15 % debido a que el cloro se evapora fácilmente. El hipoclorito de sodio reacciona más fácilmente a mayores concentraciones alterándolo la elevación

en la temperatura y la exposición a la luz solar. Debido a esto debe almacenarse en depósitos frescos.

Tabla IV. **Propiedades físicas y químicas hipoclorito de sodio (NaOCl)**

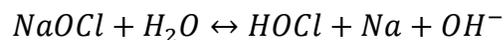
Apariencia, olor y estado:	Líquido amarillento
Cloro activo	mínimo 100 g/L
Densidad a 20/20°C	1,15-1,18 (100g/L)
pH:	10,4 a 11- Solución 14 %
Solubilidad:	Completa

Fuente: Grupo Transmerquim GTM. *Hoja de seguridad hipoclorito de sodio.*

<http://www.gtm.net/images/industrial/h/HIPOCLORITO%20DE%20SODIO.pdf>. Consulta: 30 abril de 2015.

El hipoclorito de sodio comercial es una solución que se puede obtener en concentraciones del 1 % al 10 %. Las soluciones comerciales pueden ser apropiadas, pero existen dudas en cuanto a aquellas que se usan para el lavado de ropa, porque pueden contener sustancias tóxicas. Comercialmente puede adquirirse como populino.

Los sistemas de hipoclorito de sodio (NaOCl), trabajan con concentraciones de cloro de 10 a 15 %, generando medios alcalinos debido a la reacción:



El medio alcalino que se obtiene de la reacción disminuye la capacidad bactericida del cloro.

2.3. Agentes patógenos que se transmiten por el agua

En aguas no tratadas para consumo pueden contener agentes patógenos los cuales generarían enfermedades. Estos agentes patógenos son clasificados en tres grandes clases:

Tabla V. Clasificación de agentes patógenos

Bacterias	Virus	Protozoos
<i>Campylobacter</i>	<i>Norwal-like</i>	<i>Cryptosporidium paroum</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Poliomielitis</i>	<i>Giardia lamblia</i>
<i>Salmonella</i> (no tifoidea)	<i>Rotavirus</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>
<i>Legionella</i>	<i>Hepatitis A</i>	

Fuente: ESPINOZA ZACARIAS, Karina. *Determinación de la calidad del agua de distribución de la clínica dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de la aplicación del método de cloración de acuerdo con la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala.* p. 20.

2.4. Dengue

El dengue es una infección vírica que se transmite por mosquitos del tipo *Aedes aegypti*, aunque también se transmite por el mosquito *Aedes albopictus*. La diferencia de transmisión de cada tipo de mosquito radica en su hábitat, el *Aedes albopictus* es de selvas tropicales, en cambio el *Aedes aegypti* se desarrolla en áreas pobladas.

La infección de dengue causa síntomas gripales que sin tratamiento se convierten en dengue grave o dengue hemorrágico.

El virus del dengue tiene cuatro serotipos distintos, pero estrechamente emparentados, del virus: DEN-1, DEN-2, DEN-3 y DEN-4. Cada uno de estos

genera inmunidad cuando se recupera de la infección, pero aumenta la probabilidad de padecer de dengue grave.

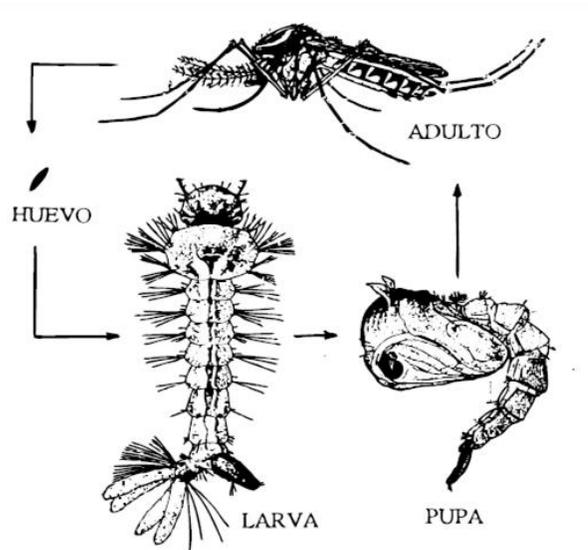
2.5. Chikunguña

Es un virus que puede ser transmitido por picaduras de mosquitos infectados del tipo *Aedes aegypti*, la fiebre que genera en los humanos es de aparición súbita, provocando náuseas y dolores en las articulaciones. Clínicamente esta enfermedad y sus efectos son iguales a los del dengue, con el que se puede confundir en zonas donde este es frecuente. Aun no tiene tratamiento curativo, el tratamiento se centra en el alivio de los síntomas. Un factor de riesgo importante es la proximidad de las viviendas a lugares de cría de los mosquitos. Se tiene registros del brote del virus en África, Asia y el subcontinente indio. En los últimos decenios los vectores de la enfermedad se han propagado a Europa y a las Américas.

2.6. El mosquito *Aedes aegypti*

Los mosquitos son insectos comunes que tienen un aparato bucal adaptado cuya función principal es perforar y succionar. Se conocen más de 3 000 especies de mosquitos en todo el mundo. Los mosquitos experimentan metamorfosis completa, esto significa que tienen un ciclo de vida de cuatro etapas que incluye huevos, larvas, pupas y adultos. Los adultos ponen huevos en agua estancada o cerca de ella, y las larvas completan su desarrollo en el medio acuático. El tiempo de vida de un mosquito hembra, desde el huevo hasta el adulto, varía de acuerdo con la temperatura ambiente y con la especie, pero puede alcanzar los 100 días.

Figura 2. **Ciclo de vida de *Aedes aegypti***



Fuente: *Directrices para la prevención y control de Aedes aegypti*.

<http://www.msal.gob.ar/images/stories/bes/graficos/0000000235cnt-01-directrices-dengue-2016.pdf>. Consulta: 30 abril de 2017.

Las hembras pueden colocar entre 50 y 150 huevos pequeños en las paredes de los recipientes, sobre el nivel del agua; cuando el recipiente recibe agua nuevamente los huevos son inundados y se produce la eclosión de los mismos permitiendo así la supervivencia incluso en condiciones desfavorables como lo son las épocas de sequía. Al eclosionar los huevos y pasar al estado larvario estas son acuáticas, nadadoras, de respiración aérea, que se alimentan por filtración de material en suspensión o acumulado en paredes y fondo del recipiente que las contiene.

La fase larval es el período de mayor alimentación, crecimiento y vulnerabilidad en el ciclo de vida de *Aedes aegypti*. La duración del desarrollo larval depende de la temperatura, la disponibilidad de alimento y la densidad de

larvas en el recipiente. En condiciones óptimas (temperaturas de 25°C a 29°C) el período desde la eclosión hasta la pupación es de 5 a 7 días. Las larvas no pueden resistir temperaturas inferiores a 10°C o superiores a 45°C, a menos de 13°C se interrumpe el pasaje a estado de pupa.

Posteriormente, las larvas mudan al estado de pupa, no se alimentan y se mueven poco dando paso a cambios anátomo-fisiológicos que conducirán a la última fase del desarrollo. El estado de adulto alado se da inmediatamente luego de emerger de la pupa, permanecen en reposo para lograr el endurecimiento del exoesqueleto y de las alas. Próximo al endurecimiento los machos y hembras se aparean, generalmente por única vez en el caso de las hembras, y se inicia la etapa reproductora.

Tanto hembras como machos son fitófagos (alimentación a base de plantas), la hembra además hematófaga (alimentación a base de proteínas provenientes de la sangre animal) para la producción de huevos, se mantiene cercana a poblados.

La duración del ciclo completo del zancudo o mosquito depende de las condiciones ambientales, pero en condiciones óptimas puede variar entre 14 a 18 días. Las formas adultas tienen un promedio de vida de una semana en los machos y aproximadamente de un mes en las hembras. Una hembra, en condiciones óptimas de temperatura y alimentación, puede llegar a poner alrededor de 700 huevos en el curso de su vida.

El vector principal del dengue y chikunguña es el mosquito del tipo *Aedes aegypti*, se transmite a los seres humanos por la picadura de hembras infectadas con el virus previamente incubado en un determinado tiempo en el cual influye la ubicación geográfica y temperatura de la región en el crecimiento y desarrollo de larvas de mosquito.

2.7. Larvicida

Los mosquitos deben contar con algún medio para completar su ciclo de vida, es el agua clara a la sombra donde las larvas de algunos mosquitos se desarrollan. Los mosquitos pueden desarrollarse en huevecillos que son depositados en volúmenes de agua estancados. Las especies de vectores más importantes dentro del género *Aedes* (*A. aegypti* y *A. albopictus*) son reconocidas como especies que se reproducen en contenedores, prefieren pequeños volúmenes de agua y abarcan ambientes de agua de lluvia acumulada en neumáticos usados, latas, maceteros, orificios de árboles.

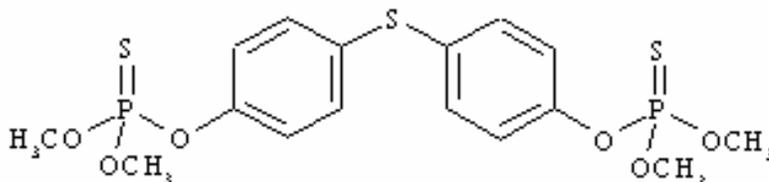
Un larvicida es un agente químico que actúa contra las larvas de insectos para evitar que estas se desarrollen y muden a la fase de pupa. El larvicida se aplica en tratamientos específicos de desinfección de agua, está diseñado para aplicarse en dosis en las cuales el impacto sea mínimo para los organismos a los que va dirigido. Pueden ser de origen sintético o biológico.

2.7.1. Larvicida Temefos

El Temefos o Temephos de nombre comercial Abate es un larvicida utilizado en América en programas de salud pública para controlar las larvas de mosquitos del tipo *Aedes aegypti*. Este presenta efectividades en la erradicación de las larvas en porcentajes mayores a 75 % al ser aplicado desde 1 ppm.

El Temefos es un compuesto químico órganofosforado de nombre 0,0,0,0'-tetrametil-0,0'-tio-di-p-fenileno de peso molecular 466,48 con formula química $C_{16}H_{20}O_6P_2S_3$.

Figura 3. Estructura química del Temefos



Fuente: *Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina, ficha técnica Temefos*. http://www.rap-al.org/articulos_files/Temefos_Enlace_84.pdf. Consulta: 30 abril de 2015.

La residualidad del larvicida Temefos es de aproximadamente 60 días, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera seguro su uso respetándose la dilución de 1 ppm, es decir, 1mg/l. Actualmente el Ministerio de Salud Pública lo emplea en programas en el control de larvas de *Aedes aegypti*. Se presentan en forma de gránulos, los que son aplicados en dosis de una parte por millón (una parte de Temefos en un millón de partes de agua = 1 ppm). Suele presentarse en recipientes de 20 kg o fraccionado en recipientes de un kilo o medio kilo. El Temefos, como cualquier otra sustancia química debe ser manipulada por personal capacitado con el adecuado equipo de protección personal.

Tabla VI. **Dosis para la aplicación de Temefos al 1 % (Abate) en una concentración de una parte por millón (1 ppm)**

Volumen de recipiente (L)	Cantidad a agregar (g)
50	5
60	6
70	7
80	8
90	9
100	10
110	11
120	12
130	13
140	14
150	15
160	16
170	17
180	18
190	19
200	20

Fuente: Ministerio de Salud de la Nación. Argentina. *Directrices para la prevención y control de Aedes aegypti* [En línea]. Disponible en web :<<http://www.msal.gov.ar/images/stories/bes/graficos/0000000235cnt-01-directrices-dengue-2016.pdf>>. Consulta: 30 abril de 2017.

2.8. Reducción del dengue en los objetivos del desarrollo del milenio

Los objetivos de desarrollo del milenio (ODM), también están conocidos en corto como objetivos del milenio. El objetivo 6. Combatir el VIH/SIDA, la malaria y el dengue. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), dos quintas partes de la población mundial viven en riesgo de ser infectadas por dengue y más de cien países han sido afectados por epidemias de dengue o dengue hemorrágico.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) considera probable que la magnitud del problema del dengue y dengue hemorrágico en las Américas siga aumentando, por el alarmante aumento de la población de *Aedes aegypti*. La urbanización rápida y desorganizada, así como la proliferación de los barrios pobres en la mayoría de las ciudades de América Latina, ofrecen los materiales de desecho y los envases favorables para que el *Aedes aegypti* se reproduzca. La meta universal 8 estableció reducir para el 2015 la incidencia de paludismo y otras enfermedades graves como el dengue estableciendo controles de los vectores del mismo.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables aplicadas en el desarrollo de la investigación, se dividen en dos grupos: independientes y dependientes.

3.1.1. Variables independientes

Variables dependientes aplicadas en el desarrollo de la investigación.

Tabla VII. Variables independientes

Variable y símbolo	Unidad de medida	Descripción
Volumen de agua (V)	Litros	Se debe determinar la cantidad de agua que se va a analizar por recipiente.
Cantidad de larvas (#Lo)	-	Se debe conocer la cantidad de larvas de mosquito que se agregan por recipiente.
Tiempo (t)	Días	Medición a determinado tiempo para control microbiológico.
Cantidad de larvas al final (#Lf)	--	Se debe conocer la cantidad de larvas de mosquito que pudieran sobrevivir después de agregar cloro.
Temperatura (T)	°C	Se debe conocer la temperatura a la cual se realiza el estudio con las larvas de mosquito.

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables dependientes

Variables dependientes aplicadas en el manejo de datos recolectados en la investigación.

Tabla VIII. **Variables dependientes**

Variable y símbolo	Unidad de medida	Descripción
Concentración de cloro	ppm	Concentración de cloro para evitar desarrollo de mosquito.

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El estudio fue desarrollado en pilas y recipientes de agua existentes en el municipio de Palín, Escuintla.

Se utilizó un método colorimétrico para determinar el cloro libre presente en las pilas y recipientes de agua.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Luis Gustavo Ardiano Reinoso, investigador.
- Ing. Químico Edgar Armando Barillas, asesor investigador.

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)

- Larvas del mosquito *Aedes aegypti* obtenidas de criaderos artificiales.
- Cloro de algún sistema de aplicación para desinfección del agua.
- Recipientes esterilizados de 250 ml proporcionados por el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. “Alba Tabarini Molina” del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Pilas y recipientes para contener larvas y cloro.
- Kit para el test de cloro libre por método colorimétrico.
- Cloro gaseoso originario del sistema de tratamiento del nacimiento Amatillo, ubicado en la colonia María Matos, Municipio de Palin, Departamento de Escuintla.
- Cloro líquido en versión comercial 5 %.
- Cloro en pastilla.
- Cajas de Petri de plástico.
- Vasos plásticos 500 ml.

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

El trabajo de investigación es netamente cualitativo ya que se conoció el comportamiento de larvas de *Aedes aegypti* en medios en los cuales se aplicó cloro como agente biocida, para así determinar la concentración de cloro que es necesaria para garantizar el uso doméstico y consumo humano del agua.

A las técnicas utilizadas para la comprobación de la hipótesis y los objetivos de la investigación se le suma la de observación científica ya que ante la imposibilidad de obtener pruebas de laboratorio (anexos 2, 3 y 4) se utilizó

una metodología que ayudará a comprobar dichos puntos de esta tesis. Se cuenta además con la infografía necesaria con fines netamente de validación.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se obtuvo por medio del análisis documental la Norma COGUANOR 29001 y se ordenó con relación a los datos técnicos de calidad del agua para consumo humano. Además, el uso de esta técnica ayudó a recolectar información referente al objeto de análisis de la investigación, es decir, acerca del *Aedes aegypti*.

Este proceso se llevó a cabo según planificación de cuatro semanas donde se recabó todo referente al marco teórico y conceptos por estudiar en esta tesis.

Como segunda parte se verificó la calidad del agua, utilizando recipientes de vidrio esterilizados para la toma de muestras, siendo estas dos para cada sistema de tratamiento, por medio de exámenes bacteriológicos llevados a cabo por el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. “Alba Tabarini Molina” del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A continuación se presenta la tercera parte de la recolección y ordenamiento de la información, esto debido a que el proceso en su parte operativa o investigativa requirió de recolección y de observación del ciclo de vida de las larvas hasta la metamorfosis de un mosquito adulto, que es idealmente de 7 a 8 días.

La recolección se sistematizó en fases alternas y aleatorias al tipo de cloro (cloro gaseoso (Cl_2), hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, hipoclorito de sodio (NaOCl)) que se utilizó como bactericida.

Por último, se estableció por medio de larvas cultivadas el proceso de análisis de las mismas, el cual consistió en pruebas de aplicación de diferentes estados de agregación de bactericida en las diferentes etapas de formación del *Aedes aegypti* específicamente en su transición desde que este es huevo hasta llegar a convertirse en pupa.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La tabulación de la información se realizó con base al límite máximo permisible de cloro residual libre de la norma COGUANOR 29001.

Basado en estimaciones propias se estableció la cantidad de cloro (cloro gaseoso (Cl_2), hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, hipoclorito de sodio (NaOCl)) que fue agregado para conseguir las concentraciones deseadas para la erradicación de las larvas de *Aedes aegypti*.

El comportamiento de las larvas de *Aedes aegypti* obtenidas de criaderos en cada sistema de cloración se monitoreó durante 48 horas.

Por último, se observó durante 14 días el desarrollo de larvas *Aedes aegypti* para medios clorados a distintas concentraciones, utilizando para ello cajas de Petri y recipientes de 500 ml.

3.8. Análisis de la información

La información que se obtuvo durante la realización de la investigación es de características cuantitativas y cualitativas, dicho de otra manera, los datos obtenidos se interpretan de manera numérica pero también tienen un carácter cualitativo, el cual también tuvo que ser abordado.

En este apartado solo se brindarán detalles relativos a la utilización de ambos modelos de análisis pero será más adelante donde efectivamente se realizará un análisis contrastado con los datos obtenidos de la investigación

3.8.1. Análisis cuantitativo

Como su nombre lo indica, los datos que se estudiaron para esta tesis son los que se pueden encontrar en los siguientes apartados:

- Tabla X cantidad de cloro agregado para cada concentración utilizada.
- Tabla XI comportamiento de larvas de *Aedes aegypti*.
- Tabla XII desarrollo de larvas *Aedes aegypti* para medios previamente clorados manteniendo concentración inicial constante.

Los datos cuantitativos en esta investigación se asocian únicamente al comportamiento de las larvas de *Aedes aegypti* y sirven de base para el análisis cualitativo, ya que los datos se interrelacionan y dependen el uno del otro para su análisis.

3.8.2. Análisis cualitativo

Depende de los datos numéricos obtenidos en el apartado anterior, ya que no habiendo antecedentes teóricos ni estadísticos se presenta la oportunidad de establecer parámetros en base a los datos obtenidos. La información presentada se analizó en base inferencias lógicas.

4. RESULTADOS

Tabla IX. **Potabilidad del agua para distintos puntos de muestreo**

Lugar de recolección de la muestra	Fuente de recolección	Concentración de cloro residual (mg/l)	Coliformes totales/(100 cm ³)	Coliformes fecales/(100 cm ³)	Apta para consumo
Villa Laura	Tanque	0,5	<1,8	<1,8	Sí
Villa Laura (tanque)	Nacimiento El Amatillo	0,6	<1,8	<1,8	Sí
San Martín (casa)	Pozo Las Victorias	0,5	<1,8	<1,8	Sí

Fuente: elaboración propia. Según anexos 2, 3 y 4.

Tabla X. **Cantidad de cloro agregado para cada concentración utilizada**

	Cantidad por litro	Concentración ppm
Cloro gaseoso Cl ₂	4 ml	1
	2 ml	0,5
Cloro líquido (hipoclorito de sodio NaOCl)	5 gotas	1
	3 gotas	0,5
Cloro pastilla (hipoclorito de calcio Ca(OCl) ₂)	2 gotas	1
	4 gotas	0,5

Fuente: elaboración propia, investigación en campo.

Tabla XI. **Comportamiento de larvas de *Aedes aegypti***

	Concentración del medio (ppm)	Tipo de recipiente	Cantidad de larvas agregadas	Muerte de larvas 2 horas	Muerte de larvas 24 horas	Muerte de larvas 48 horas
Cloro gaseoso Cl ₂	1	Pila	5	0	0	0
	0,5	Pila	5	0	0	0
Cloro líquido (hipoclorito de sodio NaOCl)	1	Pila	5	0	0	0
	0,5	Pila	5	0	0	0
Cloro pastilla (hipoclorito de calcio Ca(OCl) ₂)	1	Pila	5	0	0	0
	0,5	Pila	5	0	0	0

Fuente: elaboración propia, investigación en campo.

Tabla XII. **Desarrollo de larvas de *Aedes aegypti* para medios previamente clorados y no clorados**

	Concentración del medio inicial (ppm)	Tipo de recipiente	Desarrollo de larvas a 7 días (Positivo+)/Negativo(-)	Desarrollo de larvas a 14 días (Positivo+)/Negativo(-)
Cloro gaseoso (Cl ₂)	0,5	Caja de Petri	-	-
	0,5	Vaso de 500ml	-	-
	1	Vaso de 500ml	-	-
Cloro líquido (hipoclorito de sodio NaOCl)	0,5	Caja de Petri	-	-
	0,5	Vaso de 500ml	-	-
	1	Vaso de 500ml	-	-
Cloro pastilla (hipoclorito de calcio Ca(OCl) ₂)	0,5	Caja de Petri	-	-
	0,5	Vaso de 500ml	-	-
	1	Vaso de 500ml	-	-
Sin cloro	0	Caja de Petri	+	+
Sin cloro	0	Caja de Petri	+	+
Sin cloro	0	Vaso de 500ml	+	+
Sin cloro	0	Vaso de 500ml	+	+

Fuente: elaboración propia, investigación en campo.

Tabla XIII. **Comparación económica de los sistemas de cloración y larvicida Temefos**

	Costo (Q/g)	Costo Q (60 días)
Cloro gaseoso	0,0176	211,2
Hipoclorito de calcio	0,0500	600
Hipoclorito de sodio	0,0042	50,4
Larvicida Temefos	0,045	0,90

Fuente: elaboración propia, con datos de los anexos 7 y 8.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La potabilidad del agua presentada en la tabla IX corresponde al municipio de estudio el cual cuenta con dos sistemas de cloración para la desinfección de agua, estos son cloro gaseoso (Cl_2) e hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$. Los puntos muestreados fueron las líneas posteriores a la desinfección, se tomó una muestra del tanque Villa Laura, previo a la desinfección a la cual se le aplicó hipoclorito de sodio (NaOCl) líquido llevándolo a una concentración de 0,5 mg/L. Con las muestras analizadas se determinó que cumple con los parámetros de agua potable según la norma COGUANOR NGO 29001.

La cantidad de cloro agregada para alcanzar la concentración utilizada en los análisis del desarrollo y comportamiento de larvas *Aedes aegypti* se presenta en la tabla X, que corresponde al cloro residual, el cual se midió directamente del kit (apéndice 4).

El comportamiento de larvas de *Aedes aegypti* presentado en la tabla XI indica que el monitoreo al agregar las larvas durante las próximas 48 horas no evidenció la muerte de ninguna de las mismas. Inclusive si los medios a los cuales fueron agregadas (0,5 ppm y 1 ppm) presentaban cloro proveniente de dos sistemas de tratamiento del municipio de Palín, Escuintla así como también cloro líquido comercial (hipoclorito de sodio NaOCl). En las pilas estudiadas, aun siendo de distintos volúmenes, se logró alcanzar una concentración de cloro residual que no excediera el límite máximo permisible (LMP) indicado en la Norma COGUANOR NGO 29001.

Encontrar una concentración que demuestre la mortalidad de larvas de *Aedes aegypti*, aun si esta excede el límite máximo permisible, no es objeto de estudio en esta tesis debido a los cambios de sabor y olor en el agua que pueden generarse con agregar cloro en exceso, tomando como base que el agua que se trata es para consumo humano.

La eficacia de la cloración en las pilas de estudio está en función de la actividad microbiana con los compuestos en solución acuosa siendo estos; el ion hidronio (H^+) que se forma como producto de la mezcla de cloro y agua, así también el ácido hipocloroso ($HClO$), molécula que actúa con mayor poder bactericida en el agua.

Se esperaba que usando el sistema de tratamiento de cloro gaseoso la muerte de larvas fuera inmediata, esto debido a que el sistema de cloro gaseoso es el único que forma ácido hipocloroso y esta molécula es la que en realidad actúa como bactericida en el agua. Que al entrar en contacto con la superficie del cuerpo de la larva, el poder sanitizante reaccionaría con la materia orgánica (tal como lo hace con tejido vegetal, células, microorganismos, etcétera) haciendo eficiente el poder bactericida del cloro.

Para actuar sobre el microorganismo, en el caso de las bacterias y los microorganismos eucariotas, el agente oxidante (ácido hipocloroso) debe atravesar la membrana plasmática, que es de naturaleza fosfolipídica y oxidar enzimas respiratorios que contengan grupos tiol o sulfhidrilo ($-SH$). Las moléculas no polares se disuelven mejor en las membranas que las polares, así pues, tendrá mayor poder bactericida el ácido hipocloroso que el ion hipoclorito.

El pH en las pilas de estudio de la tabla XI fue monitoreado debido a que soluciones con pH alto, indican que la mayor parte del ácido hipocloroso se

disocia a la forma de ion hipoclorito (ClO^-) haciendo menos efectiva la cloración (revisar marco teórico concerniente a cloración punto 2.2.).

El desarrollo de larvas de *Aedes aegypti* presentado en la tabla XII fue monitoreado en cajas de petri y vasos de 500 ml durante 14 días, evaluando constantemente la concentración de cloro presente, debido a que las propiedades del cloro hacen que este se evapore fácilmente dando como resultado que en los recipientes con presencia de cloro residual, sin importar su procedencia, no se observó la presencia de larvas de *Aedes aegypti* portador del dengue y chikunguña. Mientras que en los recipientes sin presencia de cloro si se observó la presencia de larvas del mosquito en estudio

En la tabla XIII se comparó el costo de la aplicación de los productos en estudio, se tomó en consideración que el larvicida tiene una residualidad de 60 días, mientras que el cloro en cualquiera de sus sistemas de agregación se debe reforzar diariamente si está expuesto a la atmosfera. Lo anterior es debido a que las propiedades del cloro hacen que se evapore y reaccione con materias orgánicas que entren a los recipientes.

En recipientes de agua que no tengan presencia de cloro (toneles de 55 galones) se estima que la aplicación del larvicida Temefos tendría un costo de Q. 0,90 (únicamente el costo del producto); mientras que la aplicación de hipoclorito de calcio tendría un costo de Q 600,00.

Se toma en consideración que la obtención, manejo y aplicación del larvicida es un procedimiento que corresponde al Ministerio de Salud y Asistencia Social específicamente por el departamento de vectores de las áreas de salud, lo cual no agrega un costo al usuario. Mientras que la aplicación de hipoclorito de calcio ocasiona un gasto directo al usuario.

Comparar las aplicaciones que tiene del larvicida Temefos y un sistema de cloración demuestra que el larvicida está restringido únicamente a la eliminación de larvas de *Aedes aegypti* y puede ser eficiente. La desinfección de agua con los sistemas de cloración puede ser eficaz al interrumpir el ciclo de vida del mosquito (ver tabla XI), haciendo que no sea necesaria la aplicación del larvicida Temefos ni otro tipo de larvicida, lo cual agrega un costo posterior a la obtención y tratamiento del agua.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de cloro por medio de los tres sistemas de aplicación (cloro gaseoso (Cl_2), hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, hipoclorito de sodio (NaOCl), demuestra que no es eficiente el poder biocida del cloro proveniente de la formación de ácido hipocloroso (HClO) para la erradicación de larvas de *Aedes aegypti*, pero sí es eficaz, ya que no permite la incubación de los huevecillos de mosquito en los recipientes de agua en los cuales exista presencia de cloro.
2. El costo de la aplicación por gramo del larvicida Temefos es de Q. 0,045 quetzales para un volumen de 10 L; para un tonel de 55 galones corresponden Q. 0,90, esto sin tomar en cuenta que se debe considerar que la aplicación del larvicida Temefos involucra costos adicionales.
3. Se deben tomar en cuenta factores desinfectantes de los sistemas de cloración como es la mayor facilidad de formación de ácido hipocloroso utilizando el cloro gaseoso (Cl_2). La implementación de sistemas de cloración puede representar elevados costos y no ser eficiente en erradicación de larvas de *Aedes aegypti*, pero si eficaz, ya que interrumpe la incubación de huevecillos del mosquito en mención por la presencia de cloro.

RECOMENDACIONES

1. Que las municipalidades, como autoridades encargadas de la potabilización de los sistemas de agua, cumplan con brindar servicios de agua con presencia de cloro a través de sistemas de tratamiento.
2. Que el Ministerio de Salud y Asistencia Social mantenga el monitoreo en la calidad del agua para garantizar que la misma tenga presencia de cloro residual.
3. Educar a los usuarios de los beneficios que tiene la presencia de cloro residual para evitar la incubación de huevecillos de *Aedes aegypti*.
4. Los programas de tratamiento y desinfección de agua deben ser tratados transversalmente por los diferentes actores que tienen que ver con los objetivos del milenio, ya que al mejorar la calidad del agua se están erradicando problemas por enfermedades diarreicas y la proliferación de vectores como el mosquito *Aedes aegypti*.
5. No se deben exceder los límites permisibles de la aplicación de cloro residual ya, que estos causarán cambios de sabor y olor en el agua provocando el descarte del agua contenida en los recipientes. Lo anterior no es una opción si es agua que será utilizada en comunidades que no cuentan con redes de distribución de agua potable, ya que un tonel (55 galones) de agua puede tener un costo aproximado de ocho quetzales.

6. La inversión en la implementación de sistemas de cloración de agua evitará el costo adicional debido a la aplicación de larvicida al agua contenida en los recipientes de los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

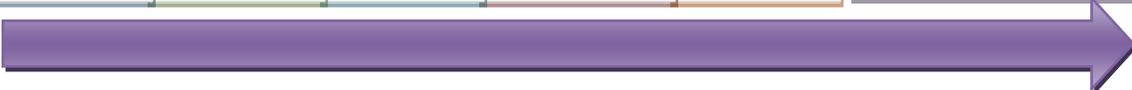
1. CASTRO Rosario y PÉREZ Rubén. *Saneamiento rural y salud- Guía para acciones a nivel local*. Guatemala: Organización Panamericana de la Salud. 2009. 224 p.
2. CHRISTMAN, Keith A. *Cloración*. Consejo de Química del Cloro. [en línea]. <<http://www.chlorineservices.com/cloracion.htm>> [Consulta: 24 de abril de 2015].
3. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). Ministerio de Economía, Guatemala, C.A. *Norma COGUANOR NGO 29 001 AGUA POTABALE*. Guatemala. 1985. 15 p.
4. ESPINOZA ZACARIAS, Karina. *Determinación de la calidad del agua de distribución de la clínica dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de la aplicación del método de cloración de acuerdo a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de cirujano dentista. Facultad de Odontología, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2002. 104p.
5. Instituto de Recursos de Agua de Texas. *Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso*. [en línea]. <<https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/l5451sironandman.pdf>> [Consulta: 26 de abril de 2017].

6. Ministerio de Salud de la Nación. *Directrices para la prevención y control de Aedes aegypti*. [en línea]. <<http://www.msal.gov.ar/images/stories/bes/graficos/0000000235cnt-01-directrices-dengue-2016.pdf>> [Consulta: 30 abril 2017].
7. Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable*. Volumen 1 3ª ed. Ginebra, Suiza: OMS. 2004. 101 p. ISBN: 92-4-154638-7
8. _____. *Chikungunya*. [en línea]. <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/es/>> [Consulta: 26 de abril de 2015].
9. _____. *Dengue*. [en línea]. <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs327/es/>> [Consulta: 26 de abril de 2015].
10. RAMOS MALDONADO, Francisco Josué. *Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de San José, departamento de Escuintla*. Trabajo de graduación de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 97 p.

APÉNDICES

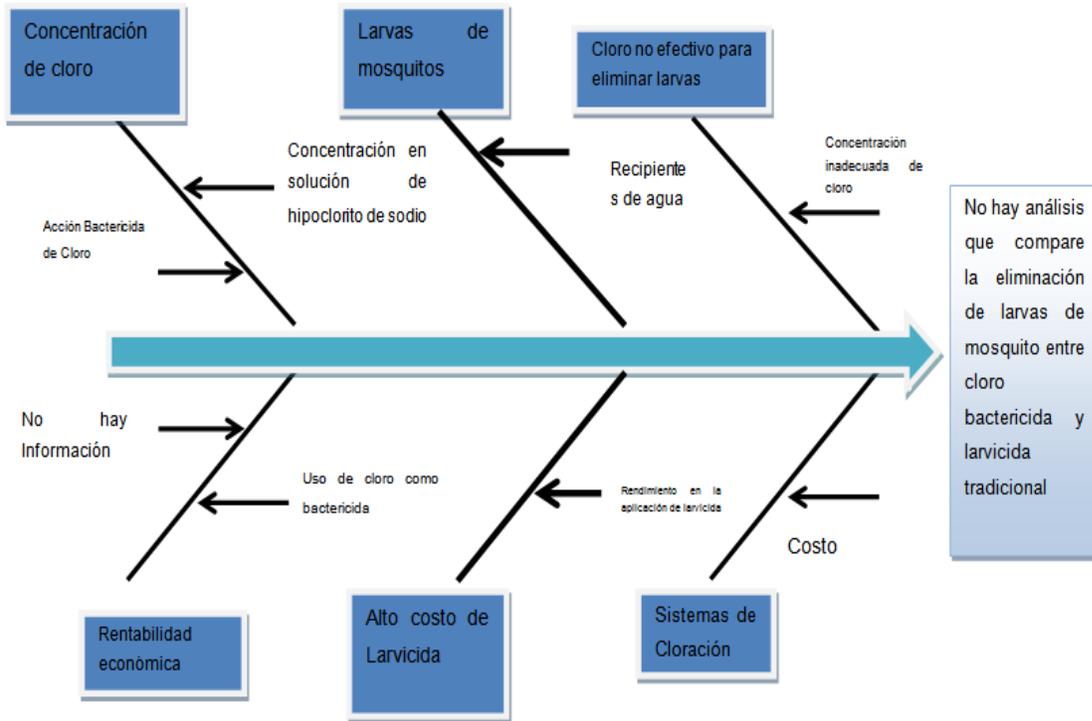
Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

CARRERA	CAMPOS DE CONOCIMIENTO	DISCIPLINAS	SUBDISCIPLINA	TEMA GENÉRICO	TÍTULO
Licenciatura en Ingeniería Química	Ingeniería Tecnología	*Química *Fisicoquímica *Operaciones Unitarias *Ingeniería Económica	*Microbiología *Química Ambiental *Biología *Análisis Cuantitativo *Análisis Cualitativo *Fisicoquímica *Transferencia de masa *Ingeniería económica	Cloración del agua	COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA PARA EL CONTROL DE LARVAS DE AEDES AEGYPTI PORTADOR DEL VIRUS DEL DENGUE (FLAVIVIRUS FLAVIVIRIDAE) Y CHIKUNGUÑA (CHIKUNGUNYA), ENTRE LARVICIDA TRADICIONAL Y CLORO.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Sistema de inyección de cloro gaseoso



Fuente: estudio en campo.

Apéndice 4. **Kit de medición de cloro libre y pH**

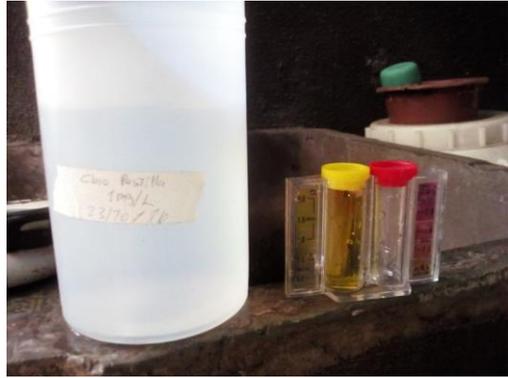


Fuente: estudio en campo.

Apéndice 5. **Recipientes para el desarrollo de mosquitos en cloro gaseoso, hipoclorito de calcio e hipoclorito de sodio**



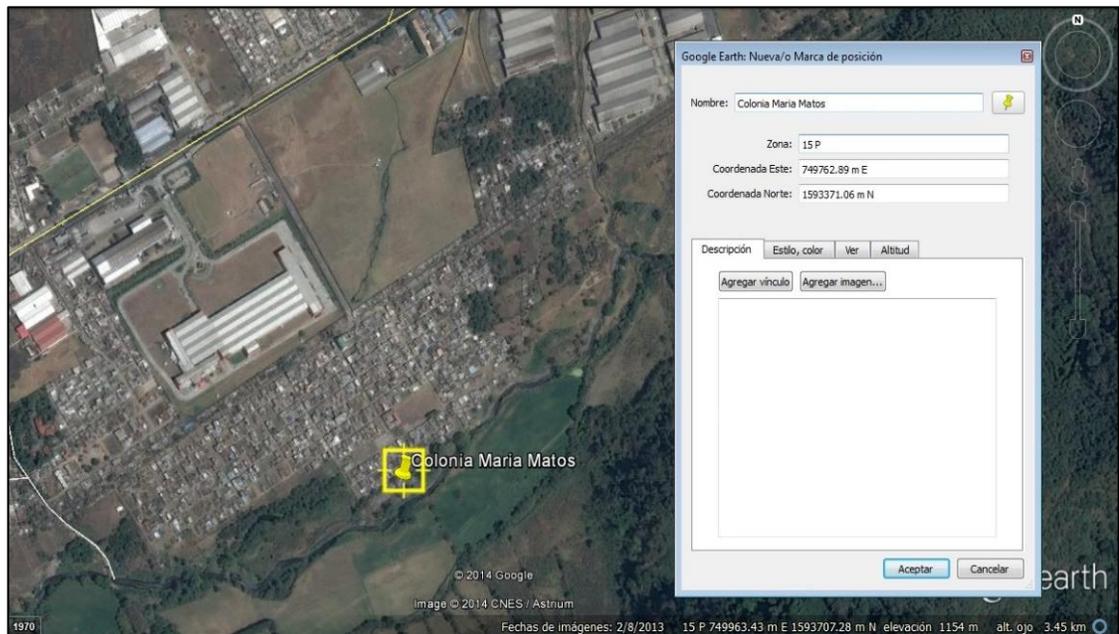
Continuación del apéndice 5.



Fuente: estudio en campo.

ANEXOS

Anexo 1. **Ubicación sistema de tratamiento del nacimiento Amatillo, Colonia María Matos, Municipio de Palín Escuintla**



Fuente: Google Earth. Consulta: 30 abril 2017.

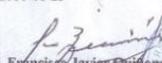
**Anexo 2. Resultado examen bacteriológico pozo de Villa Laura,
hipoclorito de sodio (NaOCl) líquido**

PRUEBAS NORMALES		PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
CANTIDAD SEMBRADA		FORMACION DE GAS - 35°C	FORMACION DE GAS	
			TOTAL	FECAL 44.5 °C
10,00 cm ³		-----	Innecesaria	Innecesaria
01,00 cm ³		-----	Innecesaria	Innecesaria
00,10 cm ³		-----	Innecesaria	Innecesaria
RESULTADO: NUMERO MAS PROBABLE DE GERMENES COLIFORMES/100cm ³			< 1,8	< 1,8

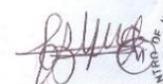
TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - W.E.F. 21TH NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.

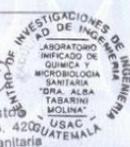
OBSERVACIONES: Bacteriológicamente el agua ES POTABLE, según norma COGUANOR NTG 29 001.

Guatemala, 2016-08-23

Vo.Bo. 
Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz
DIRECTOR CIUSAC




Zenon Much Santos
Ing. Químico Col. No. 4200 GUATEMALA
MSc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio



Fuente: análisis realizado en Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, USAC.

Anexo 3. Resultado examen bacteriológico a muestra de agua próxima al sistema de tratamiento utilizando cloro gaseoso, agua procedente del nacimiento el Amatillo, toma de muestra en zona 2 avenida central



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 4447

EXAMEN BACTERIOLOGICO		INF. No. A - 362214	
O.T. No. 35625			
INTERESADO: <u>CINDY ESTEFANY PÉREZ CANO</u> <small>CARNÉ No. 2011 23091</small>	PROYECTO: <u>TESIS "EVALUACIÓN BACTERIOLOGICA, DESINFECTANTE Y ECONOMICA DE LOS SISTEMAS HIPOCLORITO DE SODIO, HIPOCLORITO DE CALCIO Y CLORO GASEOSO PARA LA APLICACION EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO"</u>	DEPENDENCIA: <u>Facultad de Ingeniería/USAC</u>	
MUESTRA RECOLECTADA POR: <u>Interesada</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: <u>2016-05-15: 12 h05 min.</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: <u>2016-05-16: 11 h33 min.</u>	
LUGAR DE RECOLECCIÓN DELA MUESTRA: <u>Zona 2 Avenida Central</u>		CONDICIONES DE TRANSPORTE: <u>Con refrigeración</u>	
FUENTE: <u>Villa Laura Tanque</u>			
MUNICIPIO: <u>Palín</u>			
DEPARTAMENTO: <u>Escuintla</u>			
SABOR: <u>----</u>	SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN: <u>No hay</u>		
ASPECTO: <u>Clara</u>	CLORO RESIDUAL: _____		
OLOR: <u>Inodora</u>			

INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENES)

PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACION DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACION DE GAS - 35°C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10,00 cm ³	++ ---	--	--
01,00 cm ³	----	Innecesaria	Innecesaria
00,10 cm ³	----	Innecesaria	Innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES/100cm ³		< 1,8	< 1,8

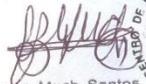
TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - W.E.F. 21TH NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.

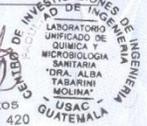
OBSERVACIONES: Bacteriológicamente el agua ES POTABLE, según norma COGUANOR NTG 29 001.

Guatemala, 2016-08-23

Vo.Bo. 
Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC




Zenón Much Santos
Ing. Químico Col. No. 420
MSc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio



FACULTAD DE INGENIERÍA - USAC -
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: análisis realizado en Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, USAC.

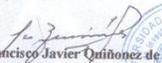
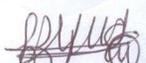
Anexo 4. Resultado examen bacteriológico, muestra de agua red de distribución municipal, utilizando hipoclorito de calcio Ca(OCl)2



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 4450

EXAMEN BACTERIOLOGICO		O.T. No. 35624	INF. No. A - 362200
INTERESADO <u>LUIS GUSTAVO ARDIANO REINOSA</u> <small>CARNE No. 2010 25380</small>	PROYECTO: TESIS "COMPARACION DE LA EFICIENCIA BIOCIDA Y ECONOMICA PARA EL CONTROL DE LARVAS DE Aedes Aegypti PORTADOR DEL VIRUS DEL DENGUE (FLAVIVIRUS - FLAVIVIRIDAE) Y CHIKUNGUNIA (CHIKUNGUNYA) ENTRE LARVICIDA TRADICIONAL Y CLORO		
MUESTRA RECOLECTADA POR <u>Interesado</u>	DEPENDENCIA: <u>Facultad de Ingenieria/USAC</u>		
LUGAR DE RECOLECCION DE LA MUESTRA: <u>Casa San Martin</u>	FECHA Y HORA DE RECOLECCION: <u>2016-02-07. 14 h20 min.</u>		
FUENTE: <u>Tanque</u>	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: <u>2016-02-08. 11 h02 min.</u>		
MUNICIPIO: <u>Palin</u>	CONDICIONES DE TRANSPORTE: <u>Con refrigeracion</u>		
DEPARTAMENTO: <u>Escuintla</u>			
SABOR: <u>-----</u>	SUSTANCIAS EN SUSPENSION <u>No hay</u>		
ASPECTO: <u>Clara</u>	CLORO RESIDUAL _____		
OLOR: <u>Inodora</u>			
INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENES)			
PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACION DE GAS	
CANTIDAD SEMBRADA	FORMACION DE GAS - 35°C	TOTAL	FECAL 44.5 °C
10,00 cm ³	-----	Innecesaria	Innecesaria
01,00 cm ³	-----	Innecesaria	Innecesaria
00,10 cm ³	-----	Innecesaria	Innecesaria
RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GERMENES COLIFORMES/100cm³		< 1,8	< 1,8
TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - W.E.F. 21TH NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.			
OBSERVACIONES: Bacteriológicamente el agua ES POTABLE, según norma COGUANOR NTG 29 001.			
Guatemala, 2016-08-23			
Vo. Bo.  Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC	 Zenon Much Santos Ing. Químico Col. No. 420 MSc. en Ingeniería Sanitaria Jefe Técnico Laboratorio		
<small>FACULTAD DE INGENIERIA - USAC - Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>			

Fuente: análisis realizado en Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, USAC.

Anexo 5. Costo de equipo e insumos en el país de Guatemala año 2017

	Cloro gaseoso	Hipoclorito de calcio	Hipoclorito de sodio
Equipo	Q35 000	Q3 500	Q2 500
Costo unitario de insumos	Q1 200/cilindro de 150 lb	Q10/pastilla de 200 g	Q800/1 tonel de 50 gal
Concentraciones de cloro comercialmente	100 %	70 %	6 %

Fuente: costos del mercado en Guatemala para el 2017, datos recopilados por el Ing. Químico Armando Barillas asesor de esta tesis.

Anexo 6. Consumo de insumos según los diferentes sistemas al día (18h)

Caudal (gpm)	Cloro gaseoso (g)	Hipoclorito de calcio (g)	Hipoclorito de sodio (g)
75	306,585	437,98	4443,26
125	510,975	729,96	7 405,43
300	1 226,34	1 751,91	17 773,04

Fuente: datos recopilados por el Ing. Químico Armando Barillas asesor de esta tesis.

Anexo 7. Costo por gramo de insumo aplicado a 1 litro de agua para los tres sistemas de cloración a 1 ppm

Cloro gaseoso (Q)	Hipoclorito de Calcio (Q)	Hipoclorito de sodio (Q)
Q 0,0176	Q 0,0500	Q 0,0042

Fuente: datos recopilados por el Ing. Químico Armando Barillas asesor de esta tesis.

Anexo 8. Costos de interés para el análisis de este estudio

	Costo en quetzales
Tonel de agua (55 galones)	8
Larvicida Temefos presentación de un kilogramo	45

Fuente: datos recopilados aproximados según mercado nacional.