



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

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA POR LA
MUNICIPALIDAD AL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL PIE DE LA
CUESTA, SAN MARCOS, GUATEMALA**

Andrea Alejandra Morales Hernández

Asesorado por el Ing. Carlos Salvador Wong Davi

Guatemala, septiembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA POR LA MUNICIPALIDAD AL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS, GUATEMALA.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANDREA ALEJANDRA MORALES HERNÁNDEZ
ASESORADO POR EL ING. CARLOS SALVADOR WONG DAVI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 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. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
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:

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA POR LA MUNICIPALIDAD AL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 16 de julio del 2015.

Andrea Alejandra Morales Hernández

Guatemala, Septiembre del 2017

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

Estimado Ing. Wong:

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he revisado y dado aprobación al informe final de Trabajo de Graduación titulado: "DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA POR LA MUNICIPALIDAD AL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS, GUATEMALA.", realizado por la estudiante de Ingeniería Química Andrea Alejandra Morales Hernández, quien se identifica con el número de carne 2163 98479 1211 y Registro académico 2011-14475.

Sin otro particular,

Atentamente,



Ing. Carlos Wong Davi
Asesor de tesis
Ingeniero Químico
Colegiado 561

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
COLEGIADO. NO. 561



Guatemala, 30 de julio de 2015
Ref. EIQ.TG-DI.058.2015

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Registro de Evaluación del diseño de investigación **EIQ-REG-TG-002**, correlativo **040-2015**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Andrea Alejandra Morales Hernández**.
Identificada con número de carné: **2011-14475**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

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:

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA POR LA MUNICIPALIDAD AL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS, GUATEMALA

El Trabajo de Graduación es asesorado por el Ingeniero Químico: **Carlos Salvador Wong Davi**.

Se autoriza al estudiante, proceder con la fase de ejecución del proyecto de investigación, del trabajo de graduación de acuerdo al cronograma aprobado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. María Alejandra Má Villatoro
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.028.2018

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 (la) estudiante, **ANDREA ALEJANDRA MORALES HERNÁNDEZ** titulado: **“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA POR LA MUNICIPALIDAD AL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS, GUATEMALA”**. 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, septiembre de 2018
FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Cc: Archivo
CSWD/ale



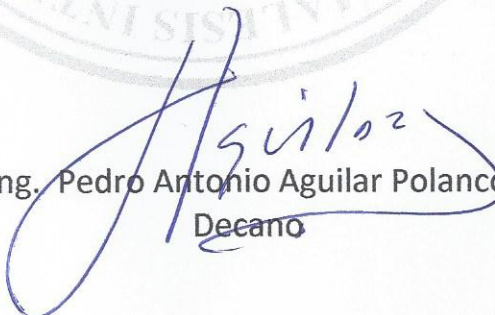
Asociación Centroamericana de Asociaciones de Ingenieros Químicos





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: **DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA POR LA MUNICIPALIDAD AL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Andrea Alejandra Morales Hernández**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Ya que gracias a él tuve las fuerzas para perseverar durante el transcurso de mi carrera.
- Mis padres** Ronaldo Morales, gracias por tu sacrificio por sacarme adelante, tus palabras de aliento y tu cariño. Liliana Hernández, me enseñaste a ser independiente y a querer hacer las cosas bien, gracias por siempre estar pendiente de mí.
- Mis amigos** Mi familia universitaria, gracias por tanta paciencia, tantas risas, tanto cariño, sin duda mis años de universidad habrían sido aburridos sin ustedes, los quiero mucho.
- Mi familia** Por siempre desear lo mejor para mí y apoyarme durante el transcurso de mi carrera, ¡saben que los quiero mucho enorme familia!

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de desarrollarme para cumplir la meta de ser Ingeniera Química.
Facultad de Ingeniería	Gracias por los conocimientos brindados por todo el personal docente a lo largo de los años.
Mi asesor	Gracias Ingeniero Wong por guiarme durante la elaboración, tanto en la parte práctica como el reporte final de mi proyecto.
Ing. Zenón y Rodolfo	Gracias por la paciencia, explicaciones y horas dedicadas durante la realización de análisis de este proyecto.
Luis Morales	Por ayudarme a gestionar los permisos para realizar los análisis con apoyo de la municipalidad, de igual forma por acompañarme durante la toma de muestras siempre con entusiasmo.
Axel López	Por brindarme su apoyo en cuanto al traslado de mis muestras para análisis, durante los dos meses, agradezco siempre su disponibilidad.

**Jackeline Morales y
Diana López**

Gracias por su apoyo en la tabulación y toma de algunas de las muestras requeridas para este informe, así como su paciencia y disponibilidad.

Luis Gustavo Reinoso

Gracia por tu apoyo para culminar el proceso de graduación, ¡te quiero mucho!

Abuela Porfiria Barrios

QEPD, le agradezco el cariño y las atenciones que me dio durante las visitas que realizaba a su casa durante los días que necesitaba tomar muestras de análisis. Gracias a este proyecto pude pasar los últimos meses que estuvo con nosotros gozando de su compañía. La quiero mucho.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Características del municipio de San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos	3
2.1.1. Localización	3
2.1.2. Población: número de hogares, tasa de crecimiento y densidad poblacional	3
2.1.3. Recursos hídricos	4
2.1.4. Distribución de agua potable en el municipio.....	4
2.1.4.1. Características de la distribución de agua potable en el área urbana de San Rafael Pie de la Cuesta.....	5
2.2. Agua potable	6
2.2.1. Definición de agua potable	6
2.2.2. Características del agua potable	6
2.2.2.1. Características físicas.....	7

	2.2.2.1.1.	Color, olor y sabor.....	7
	2.2.2.1.2.	Turbiedad.....	8
	2.2.2.1.3.	Conductividad eléctrica.....	8
	2.2.2.1.4.	Temperatura.....	8
2.2.2.2.		Características químicas	9
	2.2.2.2.1.	Cloro libre.....	9
	2.2.2.2.2.	Cloruros.....	9
	2.2.2.2.3.	Alcalinidad.....	9
	2.2.2.2.4.	Dureza total, calcio y magnesio.....	10
	2.2.2.2.5.	Potencial de hidrógeno	10
	2.2.2.2.6.	Sólidos totales disueltos.....	10
	2.2.2.2.7.	Sulfatos	11
	2.2.2.2.8.	Aluminio, cinc y cobre ...	11
	2.2.2.2.9.	Nitratos y nitritos	12
	2.2.2.2.10.	Hierro y manganeso.....	12
	2.2.2.2.11.	Fluoruros	13
	2.2.2.2.12.	Amoníaco	13
2.2.2.3.		Características microbiológicas.....	13
	2.2.2.3.1.	Coliformes totales y fecales.....	13
	2.2.2.3.2.	Escherichia coli	14
2.3.		Tipos de tratamiento para potabilizar agua	14
2.3.1.		Parámetros que se toman en cuenta para la clasificación de tipo de agua	16
2.3.1.1.		Sólidos en suspensión	16

	2.3.1.2.	Detergentes	16
	2.3.1.3.	DQO	16
	2.3.1.4.	Oxígeno disuelto.....	17
	2.3.1.5.	DBO.....	17
	2.3.2.	Cloración.....	18
	2.3.3.	Coagulación/Floculación.....	19
	2.3.4.	Decantación.....	20
	2.3.5.	Filtración	20
	2.3.6.	Afino con carbón activado	21
	2.3.7.	Desinfección	21
2.4.		Base legal de la regulación de potabilidad del agua en Guatemala.....	21
	2.4.1.	Ámbito legal e institucional de las municipalidades en cuanto a distribución de agua potable	22
3.		DISEÑO METODOLÓGICO	27
	3.1.	Variables.....	27
	3.2.	Delimitación del campo de estudio	30
	3.3.	Recursos humanos disponibles.....	31
	3.4.	Recursos materiales disponibles	31
	3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	34
	3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	34
	3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información....	35
	3.8.	Plan de análisis de los resultados	39
	3.8.1.	Programas utilizados en el análisis de los datos	39
4.		RESULTADOS	41

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	65
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA.....	73
APÉNDICES.....	77
ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de cálculo para la determinación de dureza, calcio y magnesio.....	37
2.	Diagrama de cálculo para la determinación de cloruros.....	38
3.	Diagrama de cálculo para determinación de dureza	38
4.	pH de muestras analizadas.....	41
5.	Turbiedad de muestras analizadas	42
6.	Conductividad de muestras analizadas.....	43
7.	Sólidos disueltos en muestras analizadas.....	44
8.	Cloruro presente en muestras analizadas.....	45
9.	Dureza en muestras analizadas.....	46
10.	Alcalinidad en muestras analizadas	47
11.	Calcio presente en muestras analizadas.....	48
12.	Magnesio presente en muestras analizadas	49
13.	Fluoruro presente en muestras analizadas	50
14.	Amoniaco presente en muestras analizadas.....	51
15.	Sulfato presente en muestras analizadas	52
16.	Hierro presente en muestras analizadas.....	53
17.	Nitritos presentes en muestras analizadas.....	54
18.	Nitritos presentes en muestras analizadas.....	55
19.	Manganeso presente en muestras analizadas.....	56
20.	Lectura de resultados microbiológicos	57
21.	Resultados microbiológicos de la primera muestra.....	58
22.	Resultados microbiológicos de segunda muestra	59

23.	Resultados microbiológicos de la tercera muestra.....	60
24.	Resultados microbiológicos de la cuarta muestra.....	61
25.	Resultados microbiológicos de la quinta muestra.....	62
26.	Cloro residual de muestras analizadas	63

TABLAS

I.	Principales ríos y riachuelos en el municipio de San Rafael Pie de la Cuesta.....	4
II.	Características sensoriales y eléctricas del agua potable.....	8
III.	Sustancias químicas que afectan la potabilidad	12
IV.	Parámetros de clasificación de tipo de agua	15
V.	Procesos unitarios referidos a cada grado de tratamiento.....	18
VI.	Variables presentes en la caracterización del agua potable	28
VII.	Equipo, cristalería y reactivos necesarios para el análisis de calidad de agua potable	31
VIII.	Número más probable para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos para determinar Coliformes y E. coli	36
IX.	pH encontrado, límite máximo aceptable y permisible.....	42
X.	Turbiedad encontrada, límite máximo aceptable y permisible	43
XI.	Conductividad encontrada, límite máximo aceptable y permisible.....	44
XII.	Sólidos disueltos encontrados, límite máximo aceptable y permisible	45
XIII.	Cloruros encontrados, límite máximo aceptable y permisible	46
XIV.	Dureza encontrada, límite máximo aceptable y permisible.....	47
XV.	Alcalinidad encontrada, límite máximo aceptable y permisible	48
XVI.	Calcio encontrado, límite máximo aceptable y permisible	49
XVII.	Magnesio encontrado, límite máximo aceptable y permisible.....	50
XVIII.	Fluoruro encontrado, límite máximo aceptable y permisible	51

XIX.	Amoniaco encontrado, límite máximo aceptable y permisible.....	52
XX.	Sulfato encontrado, límite máximo aceptable y permisible.....	53
XXI.	Hierro encontrado, límite máximo aceptable y permisible	54
XXII.	Nitritos encontrados, límite máximo aceptable y permisible.....	55
XXIII.	Nitratos encontrados, límite máximo aceptable y permisible.....	56
XXIV.	Manganeso encontrado, límite máximo aceptable y permisible	57
XXV.	Resultados de color de muestras analizadas.....	62
XXVI.	Datos de gráfica y rangos permisibles	63

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético (acomplejante)
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
CL	Caldo lactosado (medio de cultivo)
CaCO₃	Carbonato de calcio
EC	E. coli (medio de cultivo)
°C	Grado Celsius (temperatura)
NaOH	Hidróxido de sodio
km	Kilómetro
km²	Kilómetro cuadrado
LMA	Límite máximo aceptables
LMP	Límite máximo permisible
m³	Metro cúbico
μS/cm	Microsiemens/centímetro
mg/L	Miligramo/litro (concentración)
mL	Mililitro
Pt	Platino
pH	Potencial de hidrógeno
NTU	Unidades nefelométricas de turbiedad
VB	Verde brillante (medio de cultivo)

GLOSARIO

Acuerdo Ministerial	Decisión vinculada a algún Ministerio.
Agua potable	Agua que ha sido debidamente tratada y se encuentra en condiciones óptimas para el consumo humano.
Blanco de muestra	Muestra que no contiene analito en análisis espectrofotométrico.
Calidad	Conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permite caracterizarla y valorarla con respecto a las restantes de su especie.
Captación	Sistema que tiene como propósito recolectar agua.
Celda	Compartimiento donde se introduce muestra de agua para análisis posterior en espectrofotómetro.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Colorímetro	Herramienta que identifica el color y el matiz para una medida más objetiva del color.

Conductivímetro	Es un dispositivo diseñado para medir una característica de todos los materiales que es la conductividad.
Contaminantes	Alteración o modificación por medio de materias no deseadas que alteran las condiciones del agua.
Decreto	Resolución o decisión tomada por el Organismo Legislativo de Guatemala.
Especificaciones	Documento en el que se describen detalladamente las características o condiciones mínimas que debe cumplir.
Espectrofotómetro	Instrumento usado en el análisis químico que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones y la concentración o reacciones químicas.
Esterilizado	Eliminación de los gérmenes que infectan o que pueden provocar una infección en un cuerpo o un lugar.
Fisicoquímico	Estudio de la materia por medio de propiedades físicas y químicas.

Incubar	Mantener a una temperatura de calor constante por medios naturales o artificiales, para que las bacterias se desarrollen.
INFOM	Instituto de Fomento Municipal.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
Medio de cultivo	Son una mezcla de nutrientes que, en concentraciones adecuadas y en condiciones físicas óptimas, permiten el crecimiento de los microorganismos.
Microbiología	Parte de la biología que estudia los microorganismos u organismos microscópicos.
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
Municipalidad	Corporación o grupo de personas integrado por un alcalde o intendente y varios concejales que se encarga de administrar y gobernar un municipio.
Parámetro	Elemento o dato importante desde el que se examina un tema, cuestión o asunto.
Potenciómetro	Instrumento para medir las diferencias de potencial eléctrico o de hidrógeno.

Procesos unitarios	Parte indivisible de cualquier proceso de transformación donde hay un intercambio de energía del tipo de físico, de una materia prima en otro producto de características diferentes, con el objetivo de modificar propiedades.
Reglamento Orgánico Interno	Visión integral de desarrollo institucional.
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
Titulación/valoración	Método de análisis químico cuantitativo en el laboratorio, que se utiliza para determinar la concentración desconocida de un reactivo conocido.
Turbidímetro	Instrumento nefelométrico que mide la turbiedad causada por partículas suspendidas en un líquido.
UAAPS	Unidad Especial de Ejecución Administrativa para el Control de Agua Potable y Saneamiento.

RESUMEN

Se deseaba determinar la calidad del agua potable distribuida en el área urbana del municipio de San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos con base en el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano”, propuesto por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el cual se basa en la Norma COGUANOR 29001.

Para ello, se realizó toma de muestras de agua potable durante cuatro domingos del mes de agosto y un domingo del mes de noviembre del año 2015, en cuatro puntos diferentes de la red de captación y distribución de agua potable. El análisis de las muestras fue realizado por la investigadora en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, ubicado en la Facultad de Ingeniería. Se determinaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales incluyen color, turbiedad, temperatura, pH, conductividad, sólidos totales, cloruros, calcio, magnesio, alcalinidad, dureza total, nitritos, nitratos, fluoruro, hierro, amoníaco, sulfato, manganeso, E. coli y coliformes totales. Desde finales de febrero a la primera semana de abril del año 2016, se determinó la cantidad de cloro residual en el punto más lejano de la red de distribución.

Se estableció el cumplimiento del rango previsto para las características físicas, microbiológicas y en su mayoría de las químicas. La cantidad de manganeso excedió el rango, aunque no presenta peligro para el consumo, puede afectar tuberías o superficies de contacto. No se encontró cloro residual en las muestras analizadas, tomadas en la mayoría de días.

OBJETIVOS

General

Determinar la calidad del agua potable distribuida en el área urbana del municipio de San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos con base en el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano”, el cual se encuentra vigente y es aplicado por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Específicos

1. Determinar y verificar los valores de las características físicas y químicas del agua potable distribuida en el municipio de San Rafael Pie de la Cuesta estén dentro del rango establecido en el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano” del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
2. Determinar y verificar los valores de las características biológicas del agua potable distribuida en el municipio de San Rafael Pie de la Cuesta estén dentro del rango establecido en el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano” del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
3. Realizar un informe sobre las condiciones del sistema de distribución de agua potable del municipio de San Rafael Pie de la Cuesta.

Hipótesis

Hipótesis nula

El agua distribuida por la municipalidad de San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos cumple con las especificaciones físicas, químicas y biológicas que se exigen en el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano” el cual se encuentra vigente y es aplicado por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Hipótesis alternativa

El agua distribuida por la municipalidad de San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos no cumple con las especificaciones físicas, químicas y biológicas que se exigen en el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano” propuesto por el Ministerio de Salud y Asistencia Social.

INTRODUCCIÓN

El agua es un líquido vital para el desarrollo humano, así como de las diversas actividades que realiza diariamente. Por ello, es ideal que sea segura para consumir y no represente riesgo para la salud.

No se recomienda el consumo directo de la fuente natural de donde proviene el agua porque puede tener propiedades químicas, físicas y biológicas que incumplen con los requerimientos establecidos para clasificar el agua como potable. De ahí, la importancia de la correcta potabilización del suministro del que todos necesitamos.

En el municipio de San Rafael Pie de la Cuesta ubicado en el departamento de San Marcos, no existe un control total sobre el cumplimiento de los parámetros que regulan la potabilidad del agua que se administra. Teniendo esto en cuenta, también cabe mencionar que algunos hogares obtienen agua de fuentes directas sin tratar y esto genera enfermedades a quienes la consumen.

Debido a lo expuesto, es de suma importancia analizar la calidad del agua que se consume para lo cual se presentan las bases para realizar su estudio en el mencionado municipio.

1. ANTECEDENTES

El trabajo de graduación que a continuación se presenta se realizó en la Universidad de San Carlos de Guatemala, para la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería, el cual tienen temática similar al estudio que se desarrolla en este documento.

En marzo de 2006, Francisco Josué Ramos Maldonado, presentó el trabajo de graduación “Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del Puerto de San José, departamento de Escuintla”. El objetivo era analizar toda el área urbana, por lo que se realizaron análisis en varios puntos para identificar características físicas, químicas y bacteriológicas. Se concluyó que el agua analizada no era apta para consumo humano, por lo que se recomendó aplicar el tratamiento adecuado en la región analizada.

De lo expuesto, se tomó la idea de realizar la investigación aplicada al área urbana del municipio de San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos. Las observaciones de la investigadora denotan la ausencia de control sobre el análisis del agua que llega a la población. La delegación del Ministerio de Salud en el Municipio informó a la investigadora aseguró que se llevan a cabo análisis microbiológico del agua distribuida, sin embargo evitaron divulgar los resultados y periodicidad de los análisis. Este estudio, no contó con datos previos para establecer comparaciones o documentos de investigación en los cuales se enlistaran los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se analizaron.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Características del municipio de San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos

2.1.1. Localización

San Rafael Pie de la Cuesta se encuentra localizado al sureste de la cabecera departamental de San Marcos, a 27 km de esta. Dista 275 km de la Ciudad Capital por la carretera interamericana o 290 km por la ruta al Pacífico (CA2 Occidente).

2.1.2. Población: número de hogares, tasa de crecimiento y densidad poblacional

Según el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística, en el año 2002, la proyección de hogares en el área rural y urbana es de 726 y 2299 respectivamente. Se estima una tasa de crecimiento del 16.33%.¹

La extensión territorial del municipio de San Rafael Pie de la Cuesta es de 60 km², y según la tasa de crecimiento establecida, se estima que la población es de 15 207 personas, para ello la densidad poblacional se estima de 253 personas por kilómetro cuadrado. Existe una población de 4 381 habitantes en el área urbana y 10 826 habitantes en el área rural.

¹ FUENTES LÓPEZ, Verónica. "Municipio San Rafael Pie de la Cuesta, departamento de San Marcos. Financiamiento De Unidades Agrícolas (Producción de Café) y Proyecto: Producción de Zanahoria". Universidad de San Carlos, Facultad de Ciencias Económicas, 2011.

2.1.3. Recursos hídricos

El municipio cuenta con diversidad de recursos naturales, entre ellos se encuentran ríos, gran cantidad de caudales, riachuelos, quebradas, entre otros. Los ríos y riachuelos que destacan se mencionan a continuación:

Tabla I. **Principales ríos y riachuelos en el municipio de San Rafael Pie de la Cuesta**

No.	Ríos, nombre	No.	Riachuelos, nombre
1	Cabuz	1	Cantarrana
2	El Naranjo	2	Feria
3	Gramal	3	Niágara
4	Chayen	4	El Campamento
5	Ixlamá	5	Palma Real
6	Ixpil	6	El Vergel
7	Mopá	7	La costa
		8	San Miguel

Fuente: Verónica Fuentes, con base en datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- e investigación de campo EPS., primer semestre 2010.

2.1.4. Distribución de agua potable en el municipio

La Municipalidad de San Rafael Pie de la Cuesta brinda servicio de agua potable solo al casco urbano. Según una encuesta realizada en el 2010, el servicio era prestado a 727 hogares de la población urbana, con un total aproximado de 5 000 personas.²

² Municipalidad de San Rafael Pie de la Cuesta. "Monografía de San Rafael Pie de la Cuesta". 2014.

El 75 % de las comunidades del municipio cuentan con agua que trasladan desde nacimientos dentro del municipio, a pesar de que en los últimos años los propietarios de estas fuentes de agua han elevado los precios considerablemente. Ante ello, ni las municipalidades ni los vecinos cuentan con recursos económicos para pagar, de ahí que el 25 % restante consume agua de pozos o de ríos que pasan cerca de donde viven. El área urbana cuenta con agua potable clorada.

2.1.4.1. Características de la distribución de agua potable en el área urbana de San Rafael Pie de la Cuesta

El agua que se distribuye al municipio de San Rafael Pie de la Cuesta proviene de tres fuentes hídricas: ríos Ixpil, Cabuz y El Naranjo. Los mismos llegan a un punto común, el cual se encuentra a 5 km de distancia desde la cabecera municipal (San Rafael Pie de la Cuesta) en dirección a la cabecera departamental (San Marcos). En este punto y por medio de tuberías se capta el agua, la cual pasa por 7 pequeños tanques en los cuales baja la presión. Luego, el líquido pasa por un filtro estilo francés, que consta de una tubería con pequeñas perforaciones. El filtro tiene 6 pulgadas de diámetro y está rodeado de piedrín, arena y piedra pómez. Este dirige el agua a un tanque de 140 m³ de capacidad, donde se encuentran clorinadores, dirigiendo el agua hacia otro tanque distribuidor de capacidad de 80 m³. De este punto salen las tuberías que distribuyen el agua en el área urbana del municipio. En el primer tanque Fausto Barrios, encargado de la Municipalidad, aplica cloro al agua, los lunes, miércoles y viernes. Utiliza dos pastillas de 300 gramos con un 65% de cloro activo. La persona asignada por el Ministerio de Salud y Asistencia Social (no

quiso brindar su nombre), verifica la presencia de cloro residual los lunes, no se aplica el estudio fisicoquímico y microbiológico completo.³

2.2. Agua potable

2.2.1. Definición de agua potable

Se define como agua potable, aquella que cumple con ciertos requisitos químicos y llega al consumidor en buenas condiciones físicas, libre de sustancias nocivas o microorganismos que puedan perjudicar la salud de quien la consume⁴. Para ello, el líquido debe cumplir con parámetros establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), ya que dicho ente se encarga de velar por la salud a nivel mundial.

2.2.2. Características del agua potable

El agua potable debe cumplir con características físicas, químicas y microbiológicas. Las características físicas determinan su calidad según su percepción sensorial; las características químicas determinan su reactividad o comportamiento y las microbiológicas determinan la calidad para su consumo, sin que presente algún microorganismo patógeno.

A continuación, se enlistarán las características y parámetros permisibles (rango) para establecer la potabilidad del agua y que su consumo sea apto según la Norma Técnica Guatemalteca, COGUANOR NTG 29001.

³ Fausto Barrios, Comunicación personal. 2015.

⁴ ALUNNI, José Luis. *Agua potable, redes y tratamiento*. Fundamentos de Ingeniería. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. 2010. Página 37.

Para la lectura de algunas tablas se necesita aclarar el concepto Límite máximo aceptable (LMA) y Límite máximo permisible (LMP). El primero se refiere al valor de cualquiera de las características del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores desde punto de vista sensorial, sin ocasionar daño a la salud. El segundo se refiere al valor de concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual el agua no se adecua para consumo humano.⁵

2.2.2.1. Características físicas

El agua es una mezcla en la cual varía las cantidades relativas de distintos constituyentes.⁶

2.2.2.1.1. Color, olor y sabor

La coloración del agua puede variar ante la presencia de hierro, manganeso o materia orgánica. El color verdadero del agua se determina después de centrifugarla para retirar las partículas disueltas. A esto se le llama color verdadero. Generalmente, las aguas que provienen de pozos profundos tienen menor coloración.

Los olores y sabores desagradables ocasionan que el agua no sea apta para consumo humano e incluso es intolerable para uso industrial. Estos parámetros pueden deberse al contenido de sólidos suspendidos, microorganismos o por sustancias químicas.

⁵COGUANOR NTG 29001, Definiciones. Agua Potable, Especificaciones. 2010. Página 3.

⁶Centro Europeo de Postgrado. El agua sus características y propiedades. <https://www.ceupe.com/blog/el-agua-sus-caracteristicas-y-propiedades.html>

2.2.2.1.2. Turbiedad

Este parámetro se debe a la suspensión de partículas de pequeño tamaño en el agua que le dan un aspecto opaco si se le compara con parámetros establecidos. Las partículas en suspensión pueden ser granos del suelo en contacto con el agua, microorganismos u otra sustancia química presente.

2.2.2.1.3. Conductividad eléctrica

Este parámetro se refiere a la capacidad que tiene el agua para transportar energía eléctrica, generalmente, se debe a la presencia de sustancias iónicas. Este parámetro también depende de la temperatura.

2.2.2.1.4. Temperatura

Es un parámetro físico del agua, esto afecta únicamente la preferencia del consumidor, ya que, como factor determinante de potabilidad, no afecta.

Tabla II. **Características sensoriales y eléctricas del agua potable**

Características	LMA	LMP
Color	5.0 unidades de color (equivalente a 1 mg/L Pt)	35.0 unidades de color (equivalente a 1 mg/L Pt)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 NTU	15.0 NTU
Conductividad eléctrica, 25 °C	100 μ S/cm	750 μ S/cm

Fuente: Norma COGUANOR 29001, Características y especificaciones físicas y químicas.

2.2.2.2. Características químicas

2.2.2.2.1. Cloro libre

Cloro libre consiste en cloro molecular acuoso, ácido hipocloroso e ion hipoclorito. Para asegurar que se está distribuyendo agua apta para el consumo humano, generalmente, se agrega un pequeño exceso de cloro. Para ello, se debe controlar la adición, pues en grandes cantidades es tóxico.⁷

2.2.2.2.2. Cloruros

El ion cloruro es uno de los principales aniones de las aguas, incluidas las aguas negras. En concentraciones altas, el cloruro confiere al agua un sabor salino.

Es importante determinar este parámetro ya que la cantidad presente puede provenir de fuentes de contaminación humana o ambiental.

2.2.2.2.3. Alcalinidad

La alcalinidad del agua es su capacidad para neutralizar ácidos y es la suma de todas las bases titulables: fundamentalmente, su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, aunque otras sales o bases también contribuyen a esta propiedad.

⁷ Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Suiza. 1999. Componentes inorgánicos, paginas 1-12.

2.2.2.2.4. Dureza total, calcio y magnesio

La dureza total es la cantidad que equivale de carbonato de calcio referente a la cantidad de calcio y magnesio contenidas en el agua.

El magnesio, el calcio y otros metales alcalinotérreos son responsables de la dureza del agua. El agua que contiene grandes cantidades de iones alcalinotérreos se denomina agua dura, y el agua que contiene bajas concentraciones de estos iones se conoce como agua blanda.⁸

2.2.2.2.5. Potencial de hidrógeno

Este parámetro indica la acidez o basicidad del agua. Generalmente, se debe encontrar en rango de 6.5-8.5 ya que una variación puede tomarse como posible contacto con fuente de contaminación. Existe el método físico para determinar la concentración de hidrogeno, por medio de electrodos que brindan dicho valor, o método químico, por medio de cambio de coloración en sustancias en contacto con la muestra de agua.

2.2.2.2.6. Sólidos totales disueltos

Esto se refiere a los sólidos orgánicos e inorgánicos disueltos en el agua, lo cual puede llegar a afectar su sabor. Al exceder el rango permitido de sólidos totales disueltos, se pueden provocar incrustaciones en el sistema de tuberías o en aparatos domésticos donde se distribuye el agua.

⁸ Weber, Walter. Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos. Recuperado de <https://books.google.com.gt/books?id=TLpzh5HQYvgC&pg=PA300&dq=dureza+del+agua+potable&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiBiuutqpnaAhWK7IMKHxb4C7gQ6AEIOzAD#v=onepage&q=dureza%20del%20agua%20potable&f=false>.

2.2.2.2.7. Sulfatos

Son sales del ácido sulfúrico. Su presencia se puede originar del contacto con minerales o efluentes con alta concentración de esas sales. Puede tener efecto laxante si su contenido es elevado, o provocar corrosión en tuberías en contacto.

2.2.2.2.8. Aluminio, cinc y cobre

El aluminio es un elemento muy abundante en la corteza terrestre y se encuentra en minerales, rocas y arcillas. Esta amplia distribución explica su presencia en, prácticamente, todas las aguas naturales, bajo la forma de sales solubles, coloidales o insolubles. El cinc es uno de los metales menos comunes; se estima que forma parte de la corteza terrestre en un 0,0005-0,02 %. La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales, hay grandes cantidades de este metal en el mundo.

La presencia de metales en el agua distribuida puede provocar daño al ser humano y a los cultivos. Por ello se debe cumplir con los rangos mencionados en la tabla que se presenta a continuación.⁹

⁹ Departamento de Ingeniería Química, Universidad Rovira i Virgili, Terragona. APQUA, Tratamiento de Residuos Especiales. Rescatado de https://books.google.com.gt/books?id=PDA-1XDSRY4C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Tabla III. **Sustancias químicas que afectan la potabilidad**

Características	LMA	LMP
Cloro residual	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloruro (Cl ⁻)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
pH	7.0-7.5	6.5- 8.5
Sólidos totales disueltos	500.000 mg/L	1000.000 mg/L
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0- 25.0 °C	34.0 °C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L

Fuente: Norma COGUANOR 29001, Características y especificaciones físicas y químicas.

2.2.2.2.9. Nitratos y nitritos

Los nitratos y nitritos son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno. El nitrato es menos tóxico que el nitrito y, muchas veces, la presencia de ambos puede deberse a actividad agrícola o ganadera cerca del área donde circula el agua.

2.2.2.2.10. Hierro y manganeso

Ambos son metales. La abundancia media de hierro en la corteza terrestre es de 6,22 % y en suelos oscila entre 0,5 al 4,3%. En los arroyos, el promedio es de 0,7 mg / L; y en el agua subterránea de 0,1 a 10 mg / L. Este elemento está presente en los minerales. El manganeso está asociado con minerales del hierro y se encuentra en amalgamas.

2.2.2.2.11. Fluoruros

El flúor es un elemento relativamente abundante en la naturaleza y forma compuestos con la mayoría de los elementos. Es muy tóxico y reactivo, por lo que se debe controlar su nivel en el agua.

2.2.2.2.12. Amoniaco

Es un gas incoloro con olor característico, se considera fuente importante de nitrógeno para plantas y animales. Es soluble en el agua, y solo a niveles elevados directos puede causar daño a la salud de quien esté en contacto con el.

2.2.2.3. Características microbiológicas

Se refiere a la población de microorganismos que alberga el agua, pueden alterar su calidad y causar enfermedades. Alteran el olor y/o sabor del agua. Según la Norma COGUANOR 29001, existen tres grupos de bacterias de interés para analizar una muestra de agua: Coliforme total, Coliforme fecal y *Escherichia coli*.¹⁰

2.2.2.3.1. Coliformes totales y fecales

Estos microorganismos, generalmente, se miden para indicar la calidad del agua. Incluyen Gram Negativos, bacilos no formadores de esporas, anaerobios fermentativos y fermentadores de la lactosa, que producen gas luego de 48 horas a temperatura de 35 °C. Pueden estar en heces, pájaros o en

¹⁰ Marin, Rafael. Microbiología de las aguas. Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas (pg 73-77). Madrid, Ediciones Díaz de Santos. 2003.

la tierra. Los coliformes fecales son parte de este grupo, pero se reproducen a temperatura de 44-44,5°C, y son indicadores de contaminación fecal. El agua potable debe estar libre de este tipo de microorganismos.

2.2.2.3.2. Escherichia coli

Son bacterias Gram Negativo, generalmente, viven en los intestinos de seres vivos, y sobreviven en ambientes anaeróbicos y aeróbicos. Existen cuatro tipos de este microorganismo. El *E. coli* enterotoxigénico causa diarrea, tiene dosis de infecciones altas y puede provenir del agua consumida. El *E. coli* enteropatógeno es un mecanismo de virulencia y está en las carnes crudas. El *E. coli* enterohemorrágico está presente en el intestino de la mayoría de los animales y en el intestino del ser humano. Por último, el *E. coli* enteroinvasivo forma parte de la flora intestinal, generalmente, está en la leche.

2.3. Tipos de tratamiento para potabilizar agua

Los tratamientos para potabilizar el agua se clasifican en tres grupos en función de sus características: los componentes por eliminar, parámetros de calidad y grado de tratamiento de agua. Para ello, se pueden llevar a cabo procesos unitarios para lograr agua potable.

Los parámetros de calidad se clasifican en tres grupos A1, A2, A3, de acuerdo con los rangos en que se encuentran las características químicas del agua por tratar. La tabla que se presenta a continuación puede servir de guía.

Más adelante se mencionarán las operaciones unitarias que se utilizarán para potabilizar el agua, dependiendo de su tipo de clasificación y definiciones para su comprensión.¹¹

Tabla IV. **Parámetros de clasificación de tipo de agua**

Parámetro	Unidad	TIPO DE CLASIFICACION		
		Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3
pH	-	(6.5-8.5)	(5.5-9)	(5.5-9)
Color	u	20	100	200
Sólidos en suspensión	mg/L	(25)	0	0
Temperatura	°C	25	25	25
Conductividad a 20 °C	S/cm	(1000)	(1000)	(1000)
Detergentes	Lauril sulfato	0.2	0.2	0.5
Plaguicidas totales	mg/L	0.001	0.0025	0.005
DQO	mg/L O ₂	-	-	30
Oxígeno disuelto	% de saturación	70	50	30
DBO 5	mg/L O ₂	3	5	7
Coliformes totales 37 °C	100 mL	50	5000	5000
Coliformes fecales	100 mL	20	2000	2000

Fuente: Romero, Mynor. Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua.

http://www.fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf. Consulta: 30 septiembre de 2017.

¹¹ ROMERO, Mynor. "Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua" [en línea]. Guatemala, Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. <mynor.romero@ecolab.com>.

2.3.1. Parámetros que se toman en cuenta para la clasificación de tipo de agua

Dado que las características como pH, color, temperatura, conductividad, y microbiología del agua se explicaron anteriormente, se abarcarán únicamente los que no han sido definidos.

2.3.1.1. Sólidos en suspensión

Se refiere a la cantidad de partículas sólidas disueltas en la muestra de agua, las cuales flotan porque presentan menor densidad que el agua o por el movimiento de esta. Pueden determinarse mediante métodos gravimétricos, como la evaporación y filtración.

2.3.1.2. Detergentes

Son productos de limpieza que contienen agentes tensoactivos que actúan modificando la tensión superficial del agua. La mayoría de estos provienen de sales de sodio o potasio de ácidos grasos, los cuales se originan del tratamiento alcalino de grasas animales. Los detergentes también ocasionan la disminución de oxígeno disuelto e inhibición de actividad fotosintética.¹²

2.3.1.3. DQO

Demanda química de oxígeno, mide el contenido de materia orgánica en aguas residuales. Para determinarlo, se emplea un agente químico fuertemente

¹² Müller, Wemer. Bioquímica. Fundamentos para Medicina y Ciencias de la Vida. <https://books.google.com.gt/books?id=X2YVG6Fzp1UC&pg=PA348&dq=detergentes&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwj2ktXBv5naAhWQvVMKHfOPAJoQ6AEIQTAE#v=onepage&q=detergentes&f=false>.

oxidante en medio ácido, para obtener el equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica susceptible a oxidación.¹³

2.3.1.4. Oxígeno disuelto

Esto se debe al total de oxígeno presente en la muestra de agua por medio de tres vías de entrada: fotosíntesis, re-aireación y disolución del oxígeno atmosférico.

2.3.1.5. DBO

Esta es la demanda biológica de oxígeno. Es la cantidad de oxígeno consumido (mg/L) en una muestra de agua por los microorganismos cuando descomponen la materia orgánica a una temperatura de 20°C durante cinco días (de allí su nombre) incubadas en la oscuridad. La disminución de concentración de oxígeno produce una medida para determinar DBO.

Una vez definidos los parámetros para la clasificación del agua, se conocerá el tratamiento que debe darse a cada uno de los tipos A1, A2 y A3. Además, se explicarán brevemente dichos procesos unitarios.¹⁴

¹³ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. New York, 19 edition. 1995. Pg 5-2 a 5-12.

¹⁴ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Nueva York, 19 edición. 1995. Pg 5-2 a 5-12.

Tabla V. **Procesos unitarios referidos a cada grado de tratamiento**

Grado del tratamiento	Composición del tratamiento	Descripción
Tipo A1	Tratamiento físico simple+ desinfección	Filtración rápida + desinfección
Tipo A2	Tratamiento físico normal+ tratamiento químico y desinfección	Precloración+ Coagulación/Floculación+ Decantación+ Filtración+ Desinfección
Tipo A3	Tratamiento físico y químico intensos + Afino+ Desinfección	Cloración + Coagulación/Floculación+ Decantación+ Filtración+ Afino con carbón activo+ Desinfección

Fuente: Romero, Mynor. Pre-Treatment Field Guide: American Water Works Association. 2007.

2.3.2. Cloración

En esta etapa se adiciona cloro al agua para eliminar sustancias reductoras, así como para desinfectar el medio. Regularmente, se agrega cloro hasta el exceso, aproximadamente, al llegar a 0.5 ppm de cloro libre. El cloro puede añadirse en solución de hipoclorito de sodio, tabletas de hipoclorito de calcio o como cloro líquido.

Para lograr que el cloro residual esté en contacto con el agua por suficiente tiempo, es necesario que la cloración sea mediante dosis elevada de este elemento. En este punto, el cloro oxidará todas las sustancias que deben tratarse de esta manera. La dosis a la cual empieza a aparecer el cloro residual en el agua se llama dosis al punto de quiebre.¹⁵

¹⁵ ROMERO, Mynor. "Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua" [en línea]. Guatemala, Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. <mynor.romero@ecolab.com>. p. 6.

2.3.3. Coagulación/Floculación

Las partículas que se encuentran disueltas en una fuente de agua provienen muchas veces de erosión de suelos, descomposición de sustancias orgánicas y disolución de sustancias minerales.

Muchas veces, presenta partículas suspendidas de diverso tamaño. Generalmente, las de mayor tamaño se eliminan por medio de sedimentación, sin embargo, pueden quedar restos de partículas de menor tamaño a las cuales no les afecta la gravedad, por lo que es necesario realizar coagulación y floculación en el proceso. Esto permite el aumento del tamaño de la partícula y su aglomeración. Para ello, generalmente, se agregan sales cargadas positivamente. Esto provoca la reducción de carga y el desplazamiento de iones negativos. Esta etapa se lleva a cabo en un clarificador.

La coagulación tiene como principal objetivo desestabilizar las partículas coloidales que están en suspensión mediante su acumulación. Con ello, se elimina la turbiedad y algunos microorganismos. Por otra parte, la floculación es el proceso que le sigue a la coagulación, donde se agita la masa coagulada para aumentar su tamaño y peso para que la sedimentación ocurra con mayor facilidad. La floculación es favorecida por la agitación lenta y por adición de reactivo de floculación.

Actualmente, con frecuencia se usan los polielectrolitos debido a su eficiencia para la formación de flóculos y la reducción del impacto ambiental.¹⁶

¹⁶ ROMERO, Mynor. "Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua" [en línea]. Guatemala, Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. <mynor.romero@ecolab.com>. p. 8.

2.3.4. Decantación

En esta etapa se separa el agua y el sedimento, generalmente, en un floculador horizontal. La eliminación de sólidos se lleva a cabo en vertederos de evacuación conectados al final al decantador.¹⁷

2.3.5. Filtración

Las partículas pequeñas que no fueron retenidas en las etapas anteriores, se eliminan mediante un medio filtrante que las retenga y deje pasar el líquido. Generalmente, se utiliza arena acomodada en un lecho de grava, o bien carbón activado. También existen otros medios filtrantes de material plástico o metálico.

El tamaño del grano de arena es importante para que la filtración se dé dentro del medio y no fuera del mismo, esto evidenciaría un funcionamiento ineficiente. El espesor del medio filtrante depende de la velocidad de filtración que se desea, el tamaño y naturaleza de las partículas que se desean retener y de la pérdida de carga disponible. Los filtros más utilizados son los rápidos, en los cuales el agua previamente pasó por el proceso de coagulación- floculación. Uno de los parámetros indicativos del comportamiento que tiene el filtro es la comparación de la turbiedad con que entra y sale el agua.¹⁸

¹⁷ ROMERO, Mynor. "Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua" [en línea]. Guatemala, Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. <myr.romero@ecolab.com>. p. 9.

¹⁸ ROMERO, Mynor. "Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua" [en línea]. Guatemala, Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. <myr.romero@ecolab.com>. p. 9.

2.3.6. Afino con carbón activado

El agua que pasa por las etapas previas llega a un lecho de carbón activado, cuyo grano absorbe olores, sabor y normalmente cloro en exceso. También se elimina el amoníaco y microorganismos presentes en este paso¹⁹.

2.3.7. Desinfección

Puede ocurrir mediante tratamiento físico, químico o por medio de radiación. Durante esta última, se hace pasar el agua tratada en radiación UV. Este método de bajo costo presenta la desventaja de que si se cuenta con cierta turbiedad no funciona.

El tratamiento físico se basa en la adición de calor. Este método es oneroso y poco utilizado porque cambia las propiedades organolépticas del agua. El tratamiento químico se basa en la adición de cloro, dióxido de cloro u ozono; de estas opciones el cloro es el de menor costo y con un índice aceptable de seguridad.²⁰

2.4. Base legal de la regulación de potabilidad del agua en Guatemala

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, acuerda emitir el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano”, para especificar las normas de vigilancia y control de la

¹⁹ ROMERO, Mynor. “Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua” [en línea]. Guatemala, Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. <myr.romero@ecolab.com>. p. 11.

²⁰ ROMERO, Mynor. “Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua” [en línea]. Guatemala, Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. <myr.romero@ecolab.com>. p. 12.

potabilidad del agua, dada su calidad de recurso básico que propicia el desarrollo social.

Mediante el Acuerdo Gubernativo Número 83-2013 se aprobó, entre otras, la norma COGUANOR NTG 29001, como base de dicho manual, para prevenir y controlar enfermedades presentes en el agua, así como las diversas partículas químicas que en ella se puedan encontrar.

Se fija que todo distribuidor de agua potable debe llevar el control adecuado de microorganismos y sustancias nocivas para la salud humana, delegando la responsabilidad de velar por que se cumpla lo establecido al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Por último, se muestra el formato de la hoja de control con que debe cumplir la calidad del agua distribuida por las instituciones en el país, como registro del desempeño del sistema de abastecimiento. Esta hoja de control se utilizó como base para realizar esta investigación.

2.4.1. Ámbito legal e institucional de las municipalidades en cuanto a distribución de agua potable

El Código Municipal, Decreto N° 12-2002, y su Reforma, Decreto N° 56-2002, ambos del Congreso de la República, también expresa claramente en su Capítulo 1 del Título V, al referirse a las competencias municipales, que éstas “podrán cumplirse por un municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad de municipios”, indicando que la primera de ellas es la de: “a) Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado;...”²¹

²¹ Gobierno de Guatemala. Política Nacional del sector de Agua potable y saneamiento.

El Código de Salud, Decreto No. 90-97 del Congreso de la República, establece que le compete al Estado, a través del MSPAS, en coordinación con las instituciones del Sector, velar por la protección, conservación, aprovechamiento, uso racional de las fuentes de agua potable y por la calidad del agua para consumo humano y en ese sentido establece la obligación a las prestatarias del servicio, de clorar el agua, prohíbe la tala de árboles y la utilización de agua contaminada para cultivo de vegetales para consumo humano (Artículos 80, 84, 87, 89 y 90 del Código de Salud).

El Código de Salud, además, en el Artículo 78, establece que el Estado, a través del MSPAS, en coordinación con el INFOM y otras instituciones del sector, debe impulsar una Política prioritaria y de necesidad pública, que garantice el acceso y cobertura universal de la población a los servicios de agua potable.

De igual manera, en el artículo 93 se indica que el MSPAS, de manera conjunta con las instituciones del Sector, las Municipalidades y la comunidad organizada, promoverá la cobertura universal de la población a servicios para la disposición final de excretas, la conducción y tratamiento de aguas residuales y fomentará acciones de educación sanitaria para el correcto uso de las mismas.

A partir de estos mandatos legales del Código de Salud, por Acuerdo Ministerial 595-2010, se creó la UAAPS.

El MARN fue creado por medio del Decreto No. 90-2000 del Congreso de la República. Le corresponde formular y ejecutar las políticas relativas a su ramo, cumplir y hacer que se cumpla el régimen concerniente a la conservación, protección, sostenibilidad y mejoramiento del ambiente y los

recursos naturales en el país y el derecho humano a un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado. Debe prevenir la contaminación del ambiente, disminuir el deterioro ambiental y la pérdida del patrimonio natural.

Mediante el decreto número 1132 del Congreso de la República, se creó el INFOM para promover el progreso de los municipios. Asiste técnica y financieramente a las municipalidades en la realización de programas básicos de obras y servicios públicos, en la explotación racional de los bienes y empresas municipales, en la organización de la hacienda y administración municipal y, en general, en el desarrollo de la economía de los municipios. Esta asistencia técnica y financiera incluye lo concerniente a los servicios de agua potable y saneamiento.

El Reglamento Orgánico Interno de SEGEPLAN, Acuerdo Gubernativo número 271-2010, establece que esta institución es el órgano de planificación del Estado y de apoyo a las atribuciones de la Presidencia de la República, cuyas funciones se encuentran determinadas en la Ley del Organismo Ejecutivo. Entre otras funciones, SEGEPLAN coordina la formulación de la política pública, planificación, programación e inversión pública. Por otro lado, prioriza, gestiona, negocia, administra y contrata, por delegación de la autoridad competente, la cooperación financiera no reembolsable proveniente de organismos internacionales y gobiernos extranjeros que le sea otorgada al país para la realización de proyectos de interés común.

Otras leyes que regulan aspectos relacionados con la institucionalidad de los servicios públicos son, la Ley General de Descentralización, Decreto número 14-2002, del Congreso de la República, que tiene como objeto promover, en forma sistemática, la descentralización económica

administrativa, para lograr un adecuado desarrollo del país, en forma progresiva y regulada, para trasladar las competencias administrativas, económicas, políticas y sociales del Organismo Ejecutivo al municipio y demás instituciones del Estado. La descentralización tiene como objetivo, entre otros, mejorar la eficiencia y eficacia de la Administración Pública; universalizar la cobertura y mejorar la calidad de los servicios básicos que se prestan a la población; facilitar la participación y control social en la gestión pública; asegurar que las municipalidades y demás instituciones del Estado cuenten con los recursos materiales, técnicos y financieros correspondientes, para el eficaz y eficiente desempeño de la competencia en ellos transferida.

La Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural, Decreto número 11-2002, del Congreso de la República, establece el Sistema de Consejos de Desarrollo, que tiene como objetivo organizar y coordinar la administración pública mediante la formulación de políticas de desarrollo, planes y programas presupuestarios y el impulso de la coordinación interinstitucional, pública y privada. En esta ley se indica que el Sistema de Consejos de Desarrollo es el medio principal de participación de la población maya, xinca y garífuna y la no indígena, en la gestión pública para llevar a cabo el proceso de planificación democrática del desarrollo, tomando en cuenta principios de unidad nacional, multiétnica, pluricultural y multilingüe de la nación guatemalteca.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables y parámetros que se analizaron para la realización de este proyecto de investigación se tratan a continuación, mediante las siguientes etapas:

1. Recopilación de datos de las propiedades físicas
 - Color
 - Turbiedad

2. Recopilación de datos de las propiedades químicas
 - Potencial de hidrógeno (pH)
 - Conductividad
 - Cloruros
 - Alcalinidad, dureza total, calcio y magnesio
 - Sulfatos
 - Nitratos, nitritos
 - Fluoruros
 - Amoniacó
 - Hierro total
 - Manganeso total
 - Cloro residual

3. Recopilación de datos de las propiedades biológicas

- Coliformes totales
- *Escherichia coli*

A continuación, se muestra el análisis de las variables y parámetros presentes:

Tabla VI. **Variables presentes en la caracterización del agua potable**

Variable	Unidad	Rango permisible ²²	Característica	Descripción
Color	1 unidad de color = 1 mg/L de platino	5,0- 35,0	No controlable	Color del agua potable
Turbiedad	NTU	5,0-15,0	No controlable	Opacidad del agua potable
pH	Adimensional	5,5-8,5	No Controlable	Potencial de hidrógeno de agua potable
Conductividad	µS/cm	100-750	No controlable	Capacidad de transferencia de electricidad
Sólidos disueltos	mg/L	500-1000	No controlable	Sólidos totales disueltos
Cloruros	mg/L	100,000-250,000	No controlable	Iones Cl ⁻ en agua potable
Dureza total	mg/L	100,000- 500,000	No controlable	Moléculas de carbonato de calcio presentes en agua potable

²² COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS -COGUANOR- NGO 29001.

Continuación Tabla VI. Variables presentes en la caracterización del agua potable

Calcio (Ca)	mg/L	75,000-150,000	No controlable	Calcio presente en agua potable
Magnesio (Mg)	mg/L	50,000-100,000	No controlable	Magnesio presente en agua potable
Alcalinidad	mg/L	<300	No controlable	CaCO ₃ presente en muestra
Sulfatos (SO ₄ -2)	mg/L	100,000-250,000	No controlable	Iones de sulfato presentes en agua potable
Nitratos, nitritos	mg/L	<50 <1	No controlable	Nitratos y nitritos presentes en agua potable
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	< 1,7	No controlable	Fluoruros presentes en agua potable
Amoniaco (NH ₃ ⁺)	mg/L	1,5 - 35	No controlable	Amoniaco presente en agua potable
Hierro total	mg/L	0,100- 1,000	No controlable	Hierro presente en agua potable
Manganeso total	mg/L	0,050-0,500	No controlable	Manganeso presente en agua potable
Cloro residual	mg/L	0,5-1,0	No controlable	Cloro residual presente en agua distribuida
Coliformes totales	---	No debe haber presencia en 100 mL	No controlable	Coliformes totales presentes en agua potable
Escherichiacoli	---	No debe haber presencia en 100 mL	No controlable	E. coli presente en agua potable

Fuente: elaboración propia

3.2. Delimitación del campo de estudio

- **Campo de estudio**

El área de conocimiento en la cual se realizó la investigación para luego exponer los resultados se limita a pruebas realizadas en el laboratorio de química y microbiología.

- **Etapas que conforman la investigación**

1. Determinación de datos de las propiedades físicas
 - Color
 - Turbiedad
2. Recopilación de datos de las propiedades químicas
 - Potencial de hidrógeno (pH)
 - Conductividad
 - Cloruros
 - Alcalinidad, dureza total, calcio y magnesio
 - Sulfatos
 - Nitratos, nitritos
 - Fluoruros
 - Amoniacó
 - Hierro total
 - Manganeso total
 - Cloro residual
3. Recopilación de datos de las propiedades biológicas
 - Coliformes totales

- *Escherichia coli*

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigadora: Andrea Alejandra Morales Hernández

Asesor: Ingeniero Químico

Carlos Salvador Wong Davi

Colegiado No. 561

3.4. Recursos materiales disponibles

En la siguiente tabla se detalla el equipo, la cristalería y los reactivos necesarios para analizar las muestras de agua potable que se tomaron.

Tabla VII. **Equipo, cristalería y reactivos necesarios para el análisis de calidad de agua potable**

Parámetro por determinar	Equipo	Cristalería	Reactivos
Color	<ul style="list-style-type: none"> • Colorímetro MERCK SQ 118 • Filtro de membrana • Bomba de vacío 	<ul style="list-style-type: none"> • Porta filtro • Matraz para filtrar al vacío • Beacker 50 mL 	Agua desmineralizada
Turbiedad	TURBIDIMETRO HACH 2100AN	---	---
pH	Potenciómetro	<ul style="list-style-type: none"> • Vaso para precipitar 	---
Conductividad eléctrica	Conductivímetro WTW 330i	<ul style="list-style-type: none"> • Vaso de precipitar 250 mL 	---

Continuación Tabla VII. Variables presentes en la caracterización del agua potable

Sólidos totales	Conductivímetro WTW 330i (con opción para lectura de sólidos totales suspendidos)	Vaso de precipitar 250 mL	---
Cloruros	---	<ul style="list-style-type: none"> • Bureta • Earlenmeyer 250 mL • Probeta 100 mL • Pipeta 1 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • Cromato de potasio • Nitrato de plata
Dureza total	---	<ul style="list-style-type: none"> • Bureta con soporte • Bureta de 50 mL • Earlenmeyer 250 mL • Pipeta 1 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • Hidroxicloruro de amonio • Ericromo negro T • Solución de EDTA
Calcio	---	<ul style="list-style-type: none"> • Earlenmeyer 250 mL • Pipeta 2 mL • Bureta con soporte • Bureta de 50 mL • Pipeta 1 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • NaOH • Solución de EDTA
Magnesio	---	---	---
Alcalinidad	---	<ul style="list-style-type: none"> • Earlenmeyer 250 mL • Pipeta 2 mL • Bureta con soporte • Bureta de 50 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • Naranja de metilo • Ácido sulfúrico
Sulfatos	Espectrofotómetro Hatch	<ul style="list-style-type: none"> • 6 celdas • Probeta 25 mL • 6 tapones de hule 	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfaver
Nitratos	Espectrofotómetro Hatch	<ul style="list-style-type: none"> • 6 celdas • Probeta 25 mL • 6 tapones de hule 	<ul style="list-style-type: none"> • NitraVer 5
Nitritos	Espectrofotómetro Hatch	<ul style="list-style-type: none"> • 6 celdas • Probeta 25 mL • 6 tapones de hule 	<ul style="list-style-type: none"> • NitriVer 3

Continuación Tabla VII. Variables presentes en la caracterización del agua potable

Floururos	Espectrofotómetro Hatch	<ul style="list-style-type: none"> • 6 celdas • Probeta 25 mL • 6 tapones de hule • Pipeta 5 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Reactivo Spands
Amoniaco	Espectrofotómetro Hatch	<ul style="list-style-type: none"> • 6 celdas • Probeta 25 mL • 6 tapones de hule 	<ul style="list-style-type: none"> • Reactivo Nessler
Hierro total	Espectrofotómetro Hatch	<ul style="list-style-type: none"> • 6 celdas • Probeta 25 mL • 6 tapones de hule 	<ul style="list-style-type: none"> • FerroVer
Manganeso total	Espectrofotómetro Hatch	<ul style="list-style-type: none"> • 6 celdas • Probeta 25 mL • 6 tapones de hule 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua tipo reactivo • Ácido nítrico • Acetileno Estándar comercial de Manganeso
Cloro residual	---	<ul style="list-style-type: none"> • Celdas para depositar muestras 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de cloro residual • Indicador de pH
Coliformes totales	<ul style="list-style-type: none"> • Plancha • Potenciómetro • Refrigerador 	<ul style="list-style-type: none"> • Recipiente 100 mL 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Lauryltryptose</i> • Agua desmineralizada
<i>E. coli</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Plancha • Potenciómetro • Refrigerador 	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos de vidrio • Porta tubos 	<ul style="list-style-type: none"> • EC-MUG • Agua desmineralizada

Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Laboratorio de química y microbiología sanitaria.

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Para determinar la calidad de las muestras de agua potable, se utilizaron ambas técnicas. Se determinaron datos cualitativos como la presencia de coliformes totales y E. coli. Los datos cuantitativos abarcan las características físicas y químicas de la muestra, ya que los resultados tienen las siguientes unidades de medición: Color [u], turbiedad [NTU], pH, conductividad eléctrica [S/cm], cloro residual, cloruro, alcalinidad, dureza total, calcio, magnesio, sulfato, nitrato, nitrito, fluoruro, amoníaco, hierro total, manganeso total, cloro residual [mg/L].

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se recolectaron muestras de agua en cuatro puntos de la red de distribución de agua potable, siendo estos: Parque central de San Rafael P.C., km 273 sistema nuevo de captación, km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración y en una casa particular ubicada en Cantón San Andrés. Este procedimiento se realizó durante los cuatro domingos que conformaron el mes de agosto de 2015, y un domingo del mes de noviembre de 2015, obteniendo en total 20 muestras para analizar.

Para el muestreo para cloro residual, se realizaron tomas de muestra de agua en el punto más lejano (casa particular ubicada en Cantón San Andrés), del 22 de febrero del 2016 al 01 de abril del 2016, dejando un día de por medio. Los resultados se obtuvieron el mismo día mediante el kit de análisis de cloro residual. Este análisis se realizó después, ya que no se había tomado en cuenta para el estudio, sin embargo, es uno de los parámetros importantes y básicos para determinar la calidad de agua que se distribuye.

Los envases donde se recolectaron las muestras son de material inerte (plástico), y en los que se realizaron los análisis microbiológicos fueron de vidrio. Previo a la toma de muestras, los envases eran esterilizados. Del mismo modo, se esterilizaban los grifos donde se tomaban las muestras utilizando mecheros y encendedores; se medía la temperatura de la muestra en el instante.

El análisis de las muestras de agua se llevó a cabo en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, ubicado en la Facultad de Ingeniería. Se determinaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Las tomas de muestras se realizaron los días 2, 9, 16 y 24 de agosto y 15 de noviembre del año 2015. Dicho análisis se realizó por la investigadora.

La metodología utilizada para la determinación de los parámetros establecidos se muestra en los diagramas de la Figura 1-3 y Anexos 1-17. Se basa en el Manual de prácticas de laboratorio, “Química del agua”, del Laboratorio de química y microbiología sanitaria, que se encuentra en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, el cual se rige con la normativa COGUANOR 29001.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información

En el Apéndice 1 se muestra la forma como se tabuló y ordenó la información recabada mientras se realizaba el análisis de las muestras de agua potable, durante el tiempo que duró la investigación. Para precisar el valor cuantitativo de ciertas características se trataron los datos como lo muestran los diagramas de las Figuras 1-3. Dichos valores se definieron el día del análisis. Al utilizar el espectrofotómetro, el equipo brindaba el dato de la característica fisicoquímica buscada, por lo que no se trató de alguna manera.

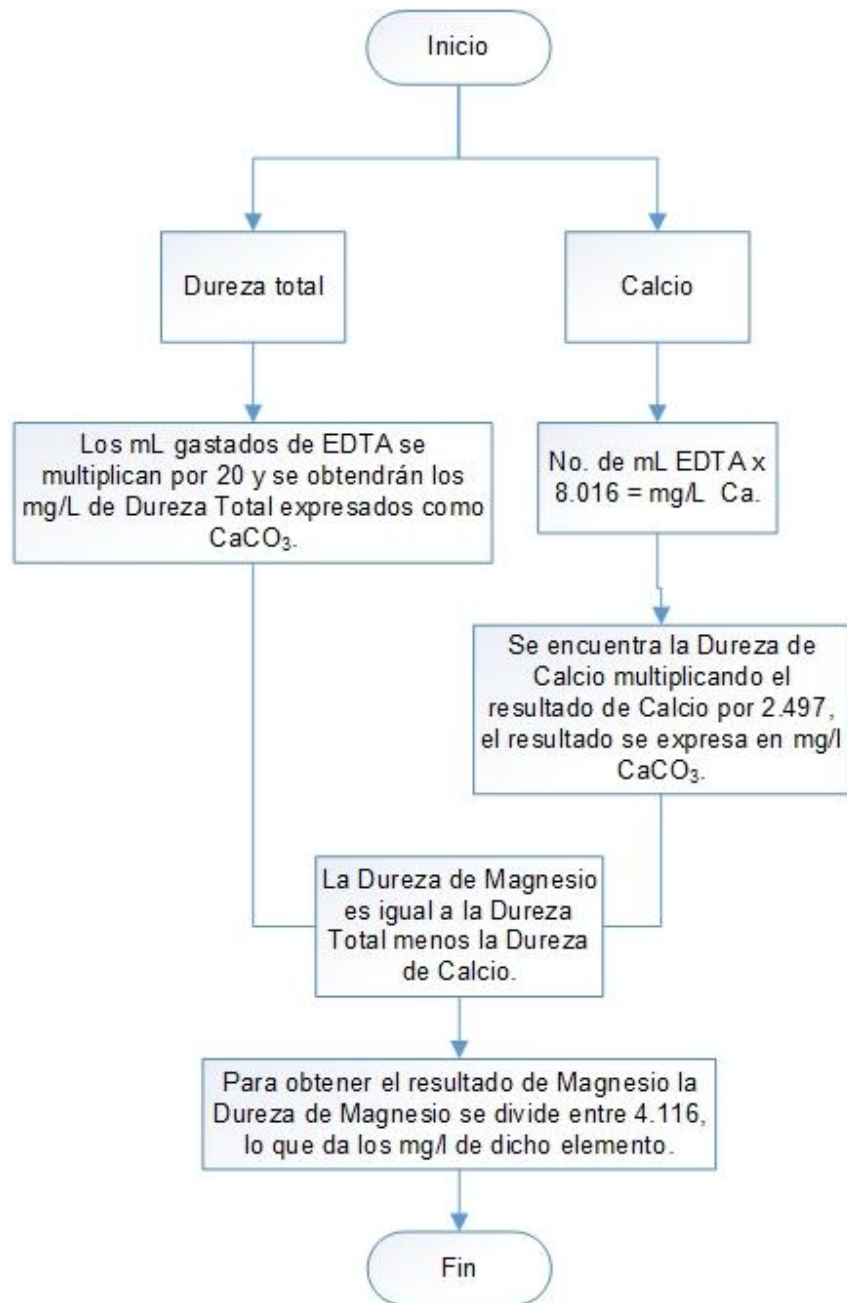
Los datos microbiológicos se obtuvieron mediante la prueba de fermentación de 15 tubos como se muestra en el diagrama del Anexo 17. La cantidad de coliformes o E. coli fue obtenida mediante las tablas de número más probable. Estas se refieren a la cantidad de tubos que den resultado positivo al sembrar 5 tubos de 10mL, 5 tubos de 1mL y 5 tubos de 0,1mL de medio de cultivo.

Tabla VIII. Número más probable para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos para determinar Coliformes y E. coli

Número de tubos que dan reacción positiva				Número de tubos que dan reacción positiva			
5 de 10 mL cada uno	5 de 1 mL cada uno	5 de 0.1 mL cada uno	NMP	5 de 10 mL cada uno	5 de 1 mL cada uno	5 de 0.1 mL cada uno	NMP
0	0	0	<2	1	1	0	4
0	0	1	2	1	1	1	6
0	1	0	2	1	2	0	6
0	2	0	4	2	0	0	4
1	0	0	2	2	0	1	7
1	0	1	4	2	1	0	7
2	1	1	9	5	0	1	30
2	2	0	9	5	0	2	40
2	3	0	12	5	1	0	30
3	0	0	8	5	1	1	50
3	0	1	11	5	1	2	60
3	1	0	11	5	2	0	50
3	1	1	14	5	2	1	70
3	2	0	14	5	2	2	90
3	2	1	17	5	3	0	80
4	0	0	13	5	3	1	110
4	0	1	17	5	3	2	140
4	1	0	17	5	3	3	170
4	1	1	21	5	4	0	130
4	1	2	26	5	4	1	170
4	2	0	22	5	4	2	220
4	2	1	26	5	4	3	280
4	3	0	27	5	4	4	350
4	3	1	33	5	5	0	240
4	4	0	34	5	5	1	300
5	0	0	23	5	5	2	500
5	0	1	30	5	5	3	900
5	0	2	40	5	5	4	600
5	0	2	40	5	5	5	≥1600

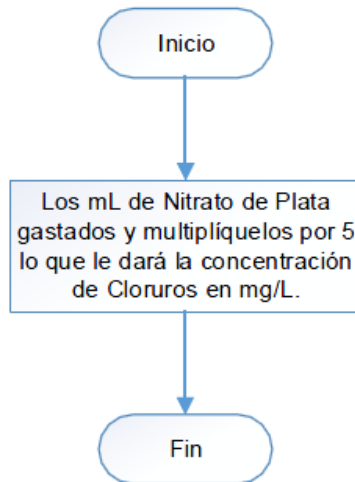
Fuente: COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS -COGUANOR- NGO 29001.

Figura 1. Diagrama de cálculo para la determinación de dureza, calcio y magnesio



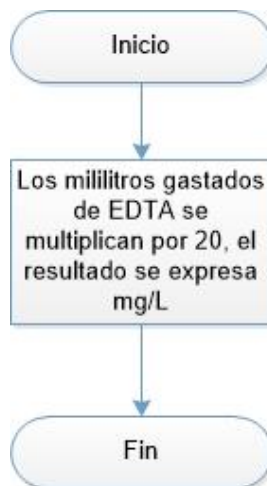
Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 2. **Diagrama de cálculo para la determinación de cloruros**



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 3. **Diagrama de cálculo para determinación de dureza**



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC

3.8. Plan de análisis de los resultados

El análisis de los resultados que se obtuvieron de los parámetros físicos y químicos se realizaron por medio de representaciones gráficas, para determinar que se mantengan dentro de los parámetros establecidos, durante el tiempo que duró la toma de muestras.

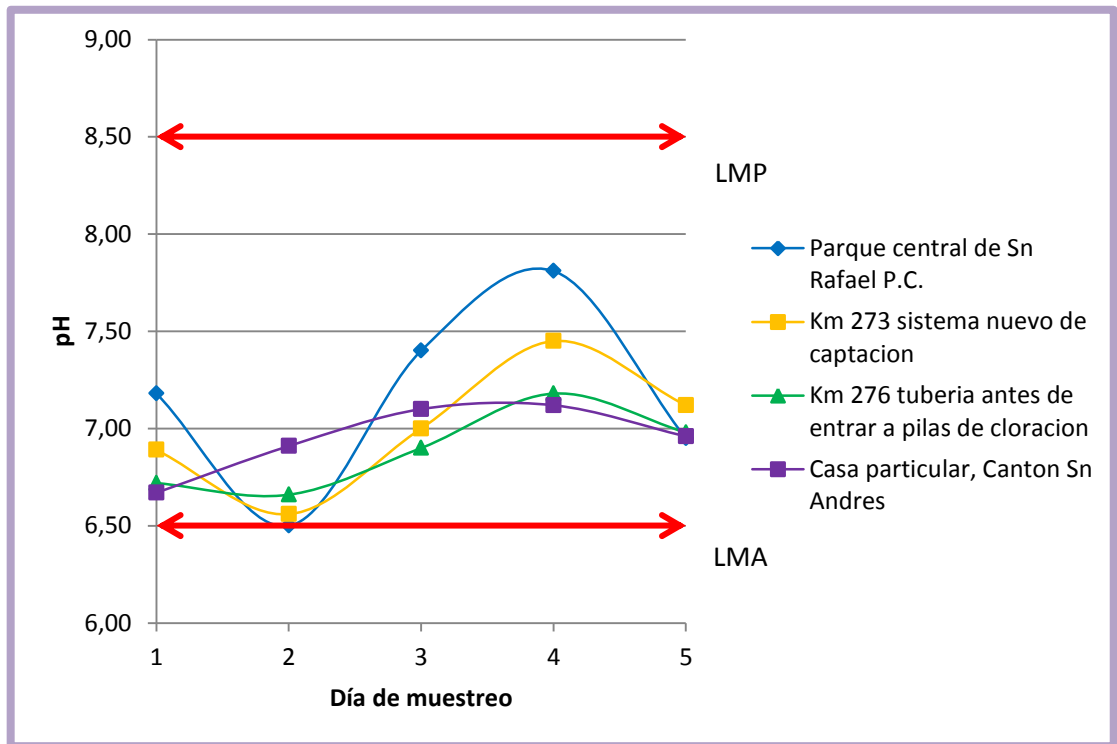
Al determinar los valores cualitativos y cuantitativos presentes en el agua analizada, se estableció si cumplen con los valores mencionados en el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano” del MSPAS, en el cual se encuentran los rangos o límites permisibles de las características analizadas, basado en la norma COGUANOR 29001.

3.8.1. Programas utilizados en el análisis de los datos

Para realizar las representaciones gráficas de los datos obtenidos, se utilizó el software Microsoft Excel y para la realización de diagramas Microsoft Visio.

4. RESULTADOS

Figura 4. pH de muestras analizadas



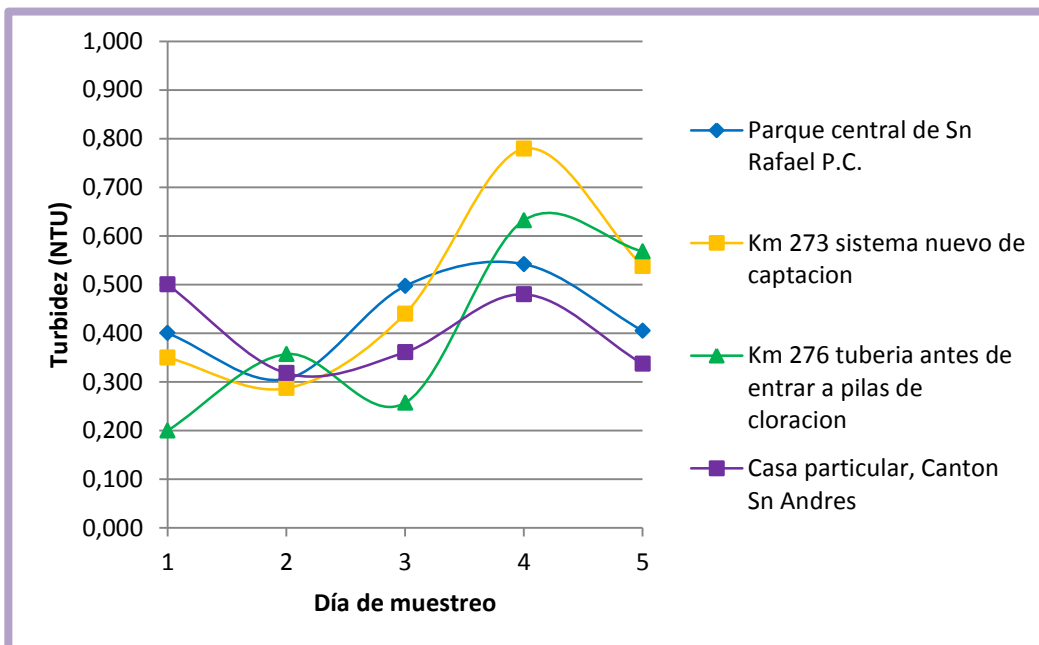
Fuente: Apéndice 1.

Tabla IX. pH encontrado, límite máximo aceptable y permisible

pH							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	7.18	6.50	7.40	7.81	6.95	6.5	8.5
Km 273 sistema nuevo de captación	6.89	6.56	7.00	7.45	7.12		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	6.72	6.66	6.90	7.18	6.98		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	6.67	6.91	7.10	7.12	6.96		

Fuente: Apéndice 1; LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 5. Turbiedad de muestras analizadas



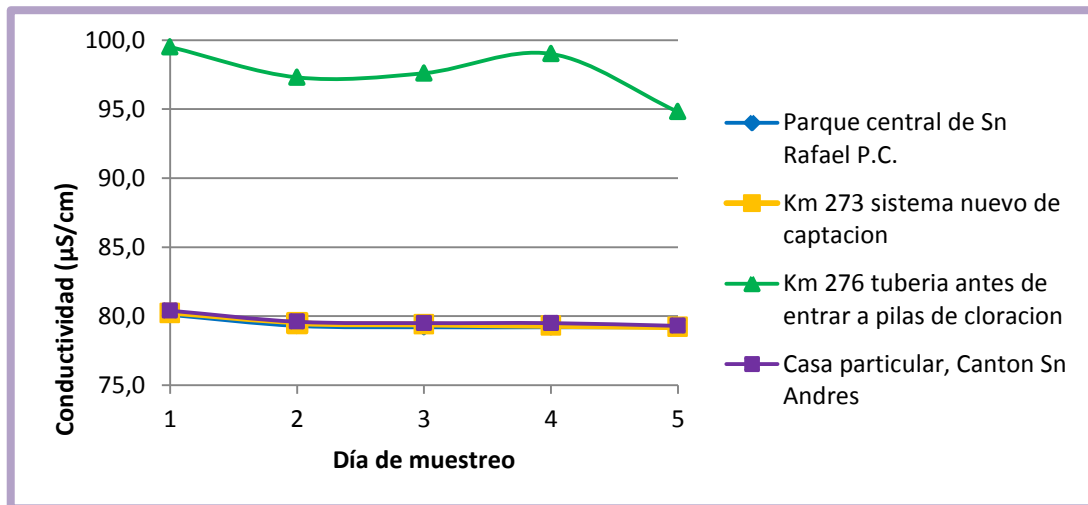
Fuente: Apéndice 1.

Tabla X. **Turbiedad encontrada, límite máximo aceptable y permisible**

Turbiedad (NTU)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	0.400	0.306	0.497	0.542	0.405	5.00	15.00
Km 273 sistema nuevo de captación	0.350	0.287	0.440	0.779	0.538		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	0.200	0.357	0.257	0.632	0.568		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	0.500	0.318	0.361	0.480	0.337		

Fuente: Apéndice 1; LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 6. **Conductividad de muestras analizadas**



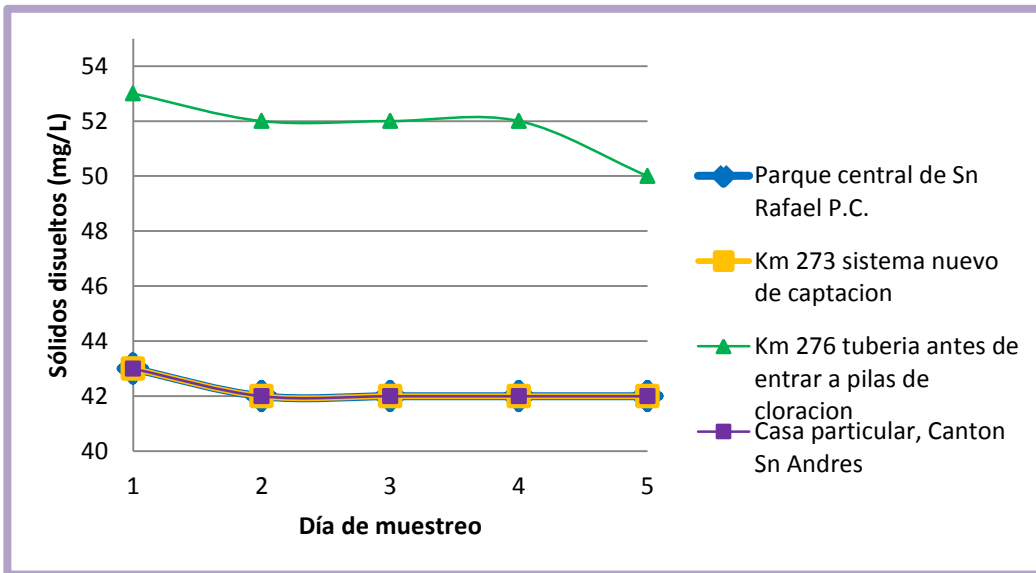
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XI. Conductividad encontrada, límite máximo aceptable y permisible

Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	80.1	79.3	79.2	79.2	79.2	750.0	1500.0
Km 273 sistema nuevo de captación	80.2	79.5	79.4	79.3	79.2		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	99.5	97.3	97.6	99.0	94.8		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	80.4	79.6	79.5	79.5	79.3		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 7. Sólidos disueltos en muestras analizadas



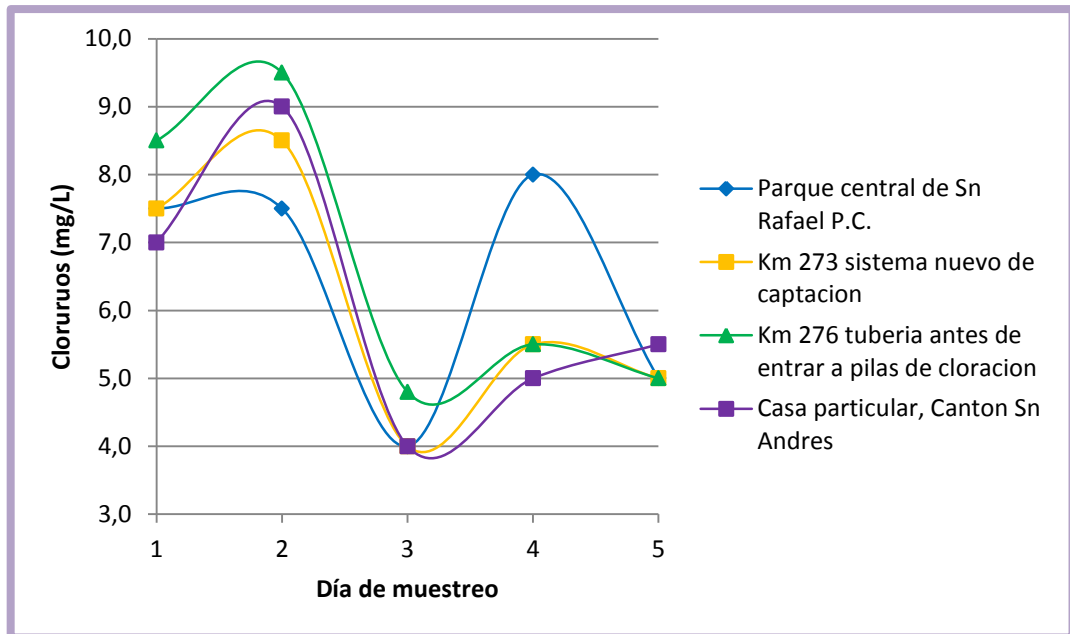
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XII. **Sólidos disueltos encontrados, límite máximo aceptable y permisible**

Sólidos disueltos (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	43	42	42	42	42	500	1000
Km 273 sistema nuevo de captación	43	42	42	42	42		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	53	52	52	52	50		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	43	42	42	42	42		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 8. **Cloruro presente en muestras analizadas**



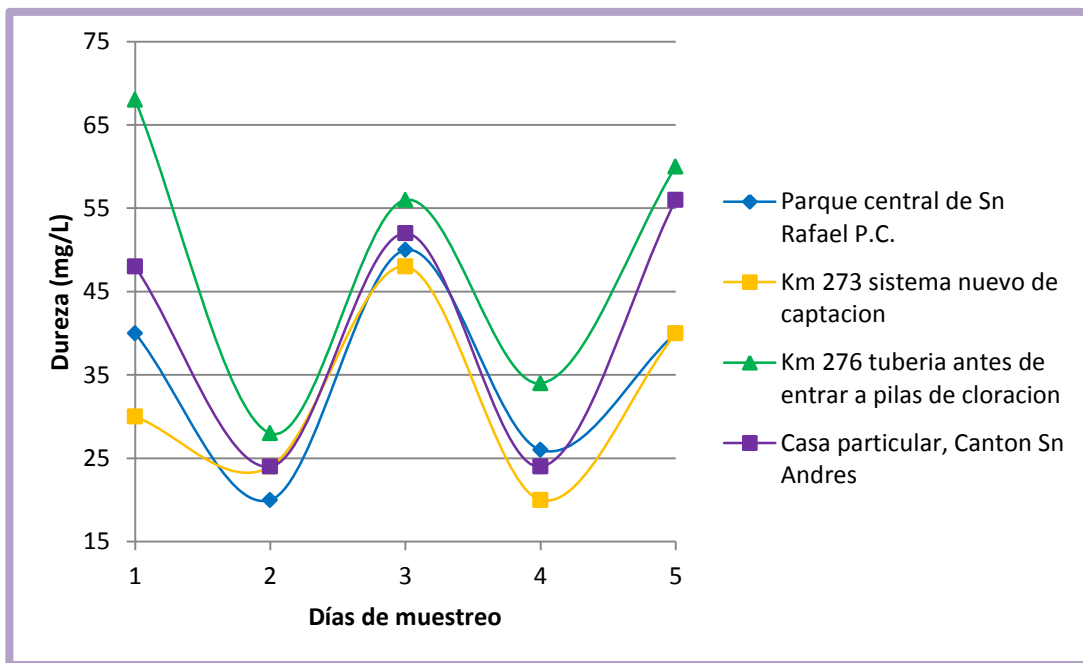
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XIII. Cloruros encontrados, límite máximo aceptable y permisible

Cloruros (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	7.5	7.5	4.0	8.0	5.0	100.0	250.0
Km 273 sistema nuevo de captación	7.5	8.5	4.0	5.5	5.0		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	8.5	9.5	4.8	5.5	5.0		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	7.0	9.0	4.0	5.0	5.5		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 9. Dureza en muestras analizadas



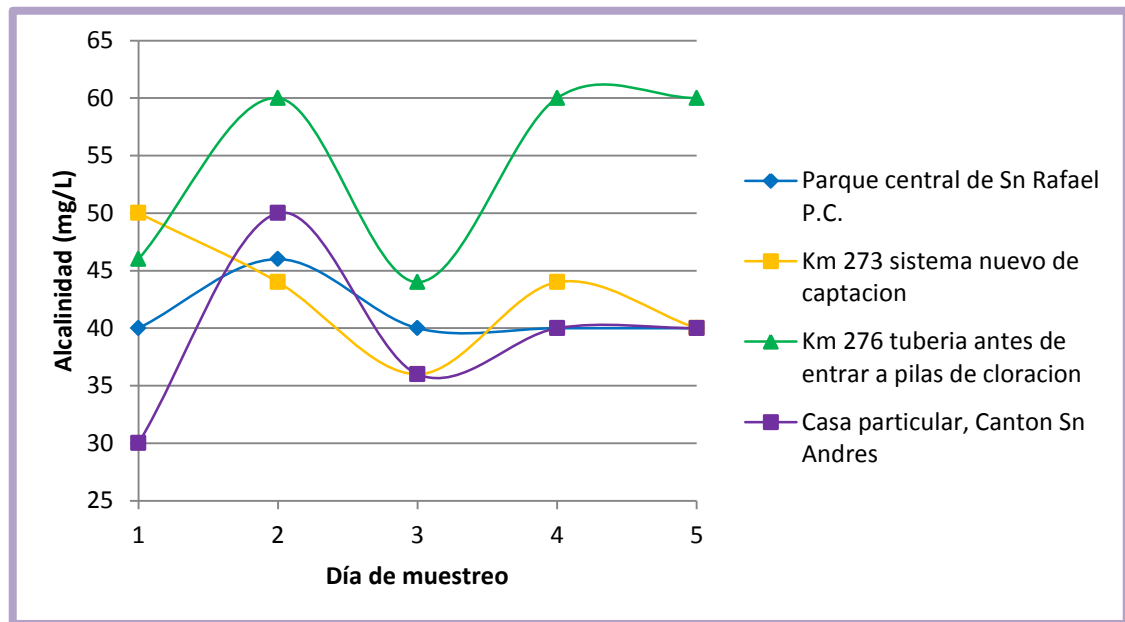
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XIV. Dureza encontrada, límite máximo aceptable y permisible

Dureza (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	40	20	50	26	40	100	500
Km 273 sistema nuevo de captación	30	24	48	20	40		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	68	28	56	34	60		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	48	24	52	24	56		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 10. Alcalinidad en muestras analizadas



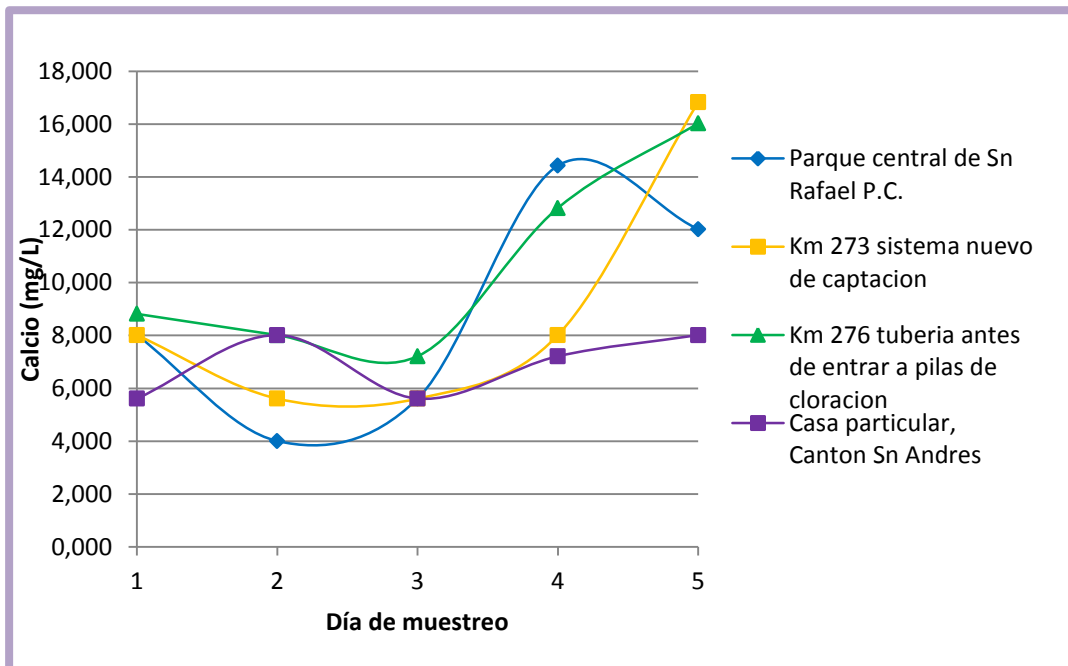
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XV. Alcalinidad encontrada, límite máximo aceptable y permisible

Alcalinidad (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	40	46	40	40	40		300
Km 273 sistema nuevo de captación	50	44	36	44	40		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	46	60	44	60	60		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	30	50	36	40	40		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 11. Calcio presente en muestras analizadas



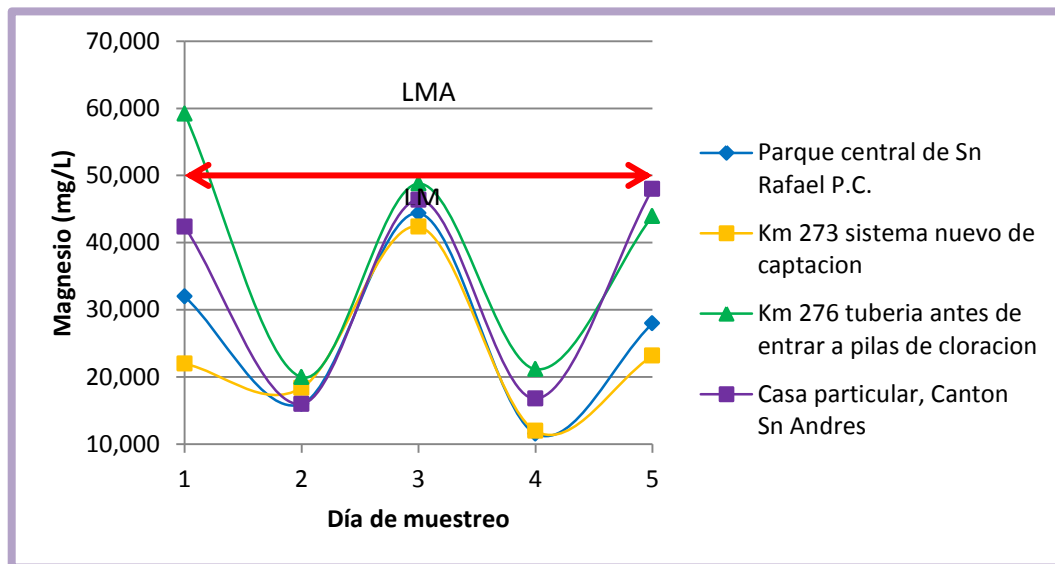
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XVI. **Calcio encontrado, límite máximo aceptable y permisible**

Calcio (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	8.02	4.01	5.61	14.43	12.02	75.00	150.00
Km 273 sistema nuevo de captación	8.02	5.61	5.61	8.02	16.83		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	8.82	8.02	7.21	12.83	16.03		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	5.61	8.02	5.61	7.21	8.012		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 12. **Magnesio presente en muestras analizadas**



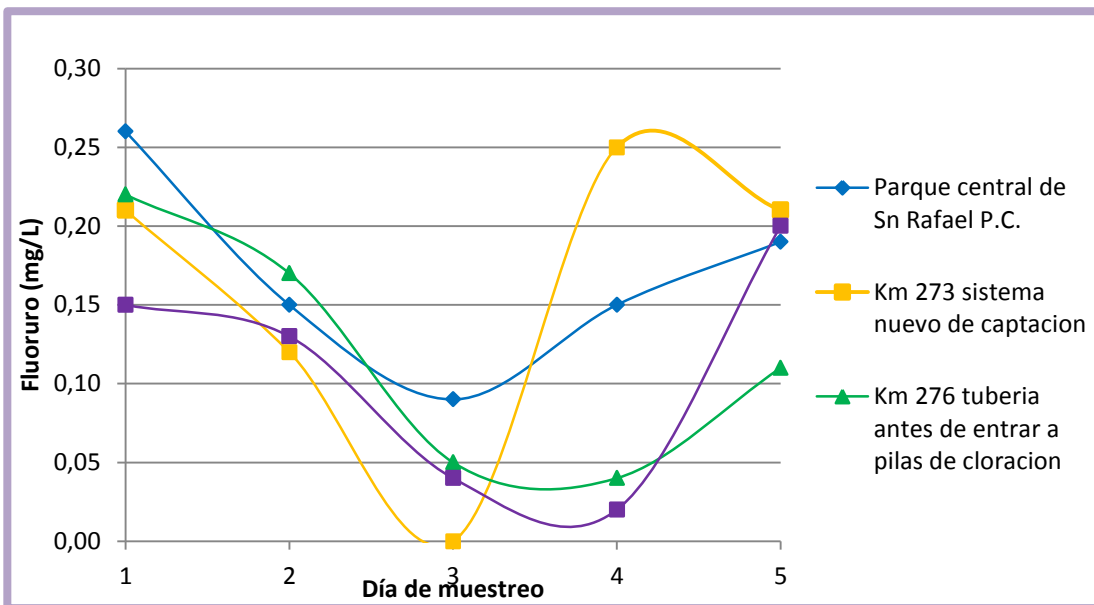
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XVII. **Magnesio encontrado, límite máximo aceptable y permisible**

Magnesio (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	31.98	15.99	44.39	11.57	27.98	50.00	100.00
Km 273 sistema nuevo de captación	21.98	18.39	42.39	11.98	23.17		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	59.18	19.98	48.79	21.17	43.97		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	42.39	15.98	46.39	16.79	47.98		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 13. **Fluoruro presente en muestras analizadas**



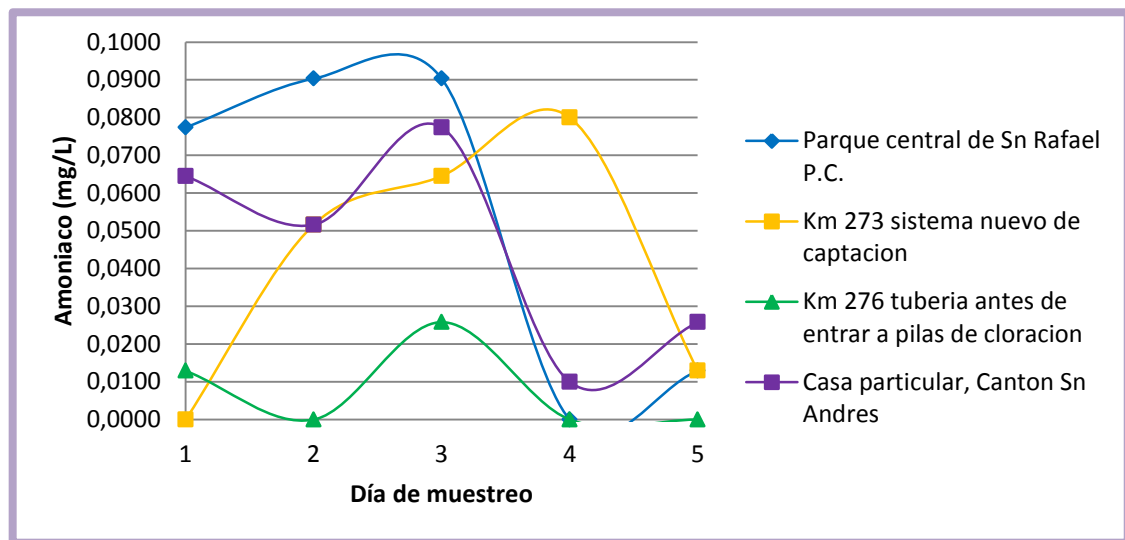
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XVIII. Fluoruro encontrado, límite máximo aceptable y permisible

Fluoruro (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	0.26	0.15	0.09	0.15	0.19		<1.7
Km 273 sistema nuevo de captación	0.21	0.12	0.00	0.25	0.21		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	0.22	0.17	0.05	0.04	0.11		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	0.15	0.13	0.04	0.02	0.20		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 14. Amoniaco presente en muestras analizadas



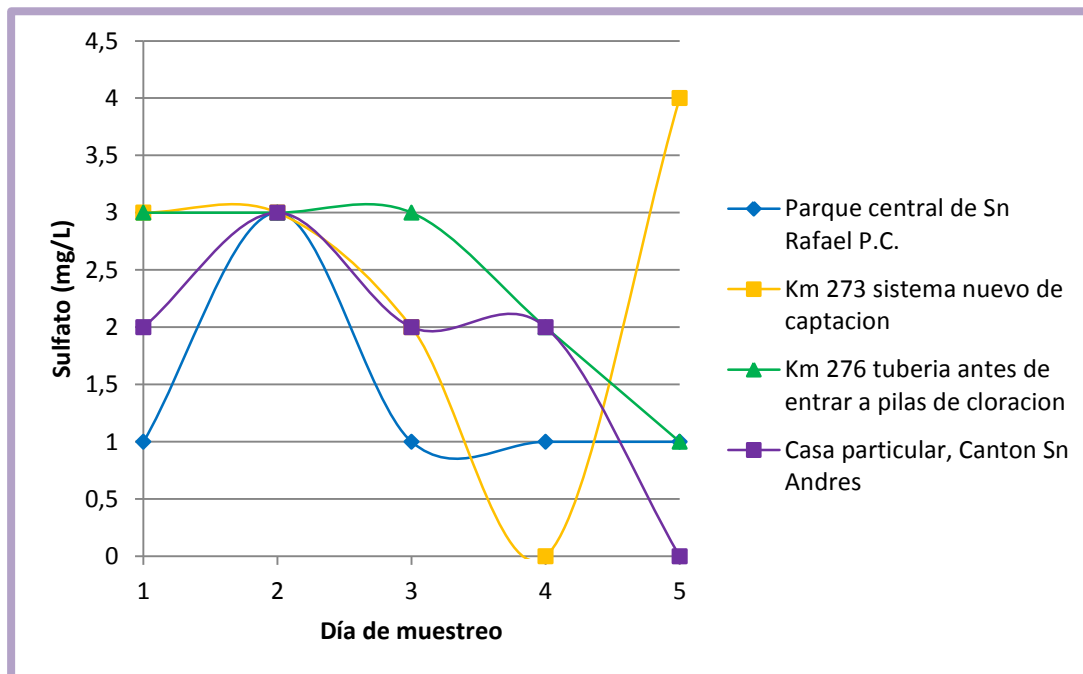
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XIX. **Amoniaco encontrado, límite máximo aceptable y permisible**

Amoniaco (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	0.08	0.09	0.09	0.00	0.01	1.5	35.0
Km 273 sistema nuevo de captación	0.00	0.05	0.06	0.08	0.01		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	0.0	0.00	0.02	0.00	0.00		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	0.06	0.05	0.08	0.01	0.02		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 15. **Sulfato presente en muestras analizadas**



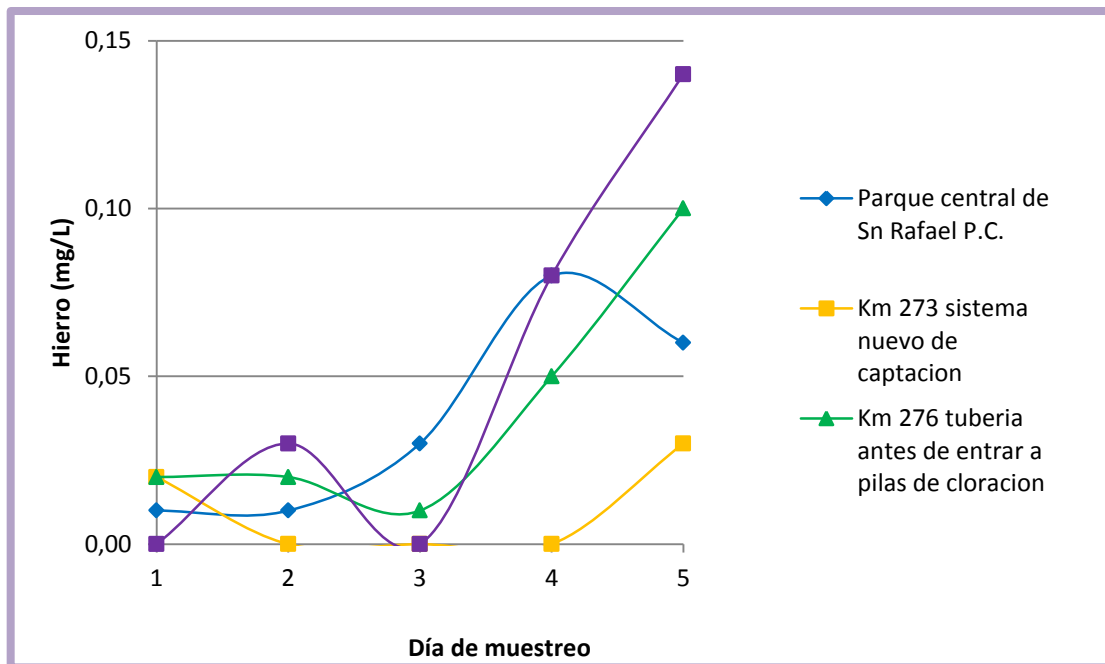
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XX. Sulfato encontrado, límite máximo aceptable y permisible

Ubicación vs Día	Sulfato (mg/L)					LMA	LMP
	1	2	3	4	5		
Parque central de Sn Rafael P.C.	1	3	1	1	1	100	250
Km 273 sistema nuevo de captación	3	3	2	0	4		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	3	3	3	2	1		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	2	3	2	2	0		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 16. Hierro presente en muestras analizadas



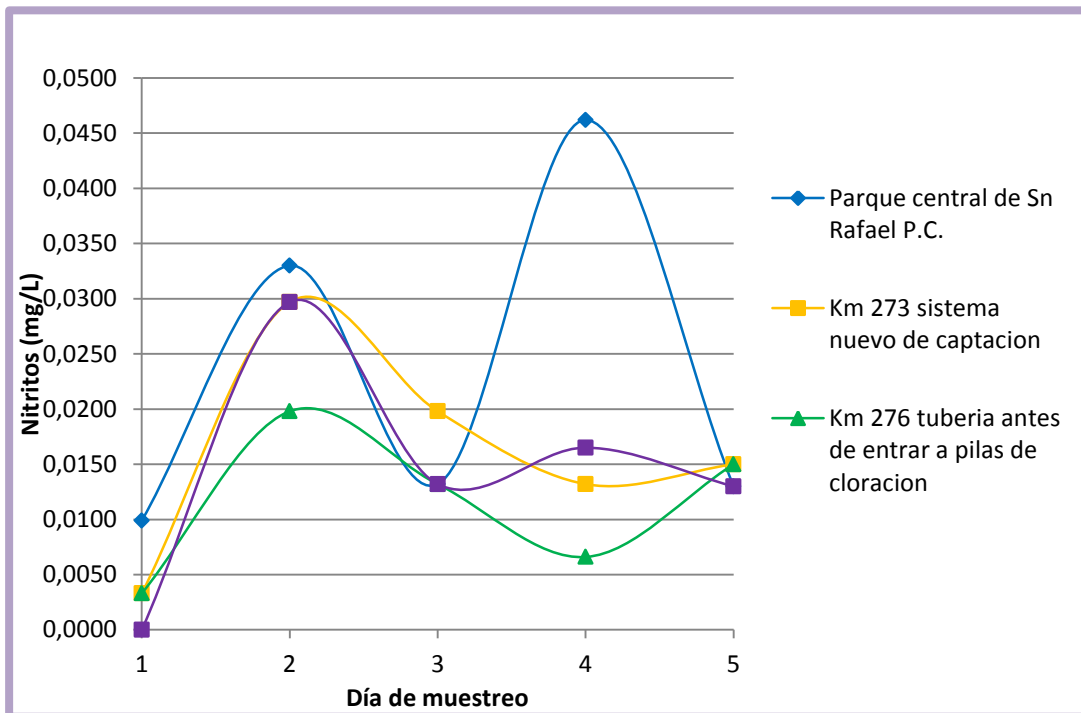
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XXI. Hierro encontrado, límite máximo aceptable y permisible

Hierro (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	0.01	0.01	0.03	0.08	0.06		<0.3
Km 273 sistema nuevo de captación	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	0.02	0.02	0.01	0.05	0.10		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	0.00	0.03	0.00	0.08	0.14		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 17. Nitritos presentes en muestras analizadas



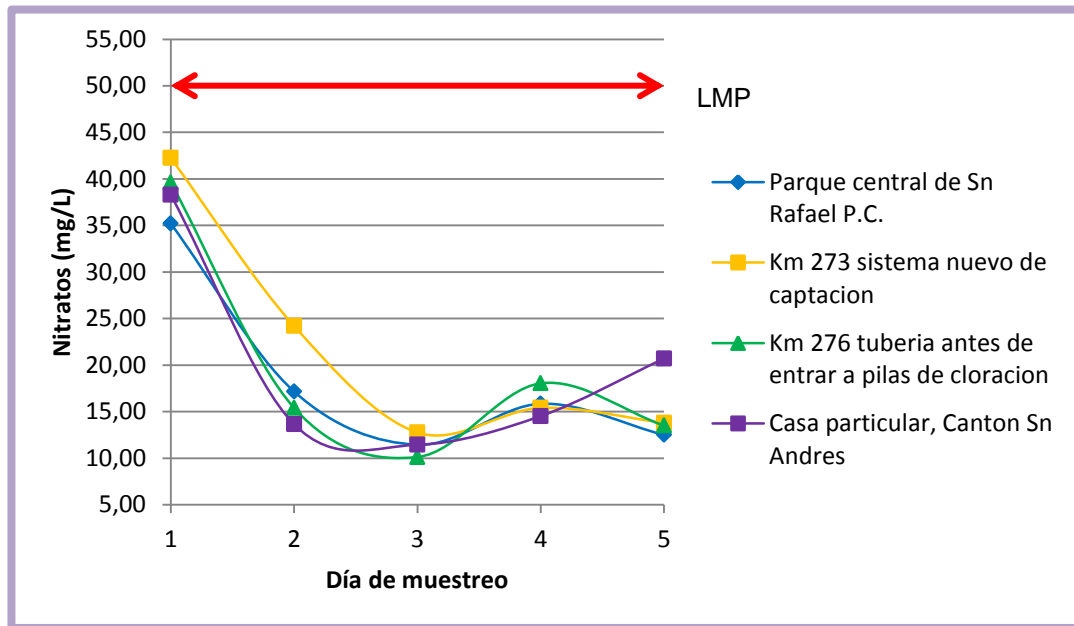
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XXII. Nitritos encontrados, límite máximo aceptable y permisible

Nitritos (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	0.009	0.033	0.013	0.046	0.013		<3
Km 273 sistema nuevo de captación	0.003	0.030	0.020	0.013	0.015		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	0.003	0.019	0.013	0.006	0.015		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	0.000	0.029	0.013	0.016	0.013		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 18. Nitritos presentes en muestras analizadas



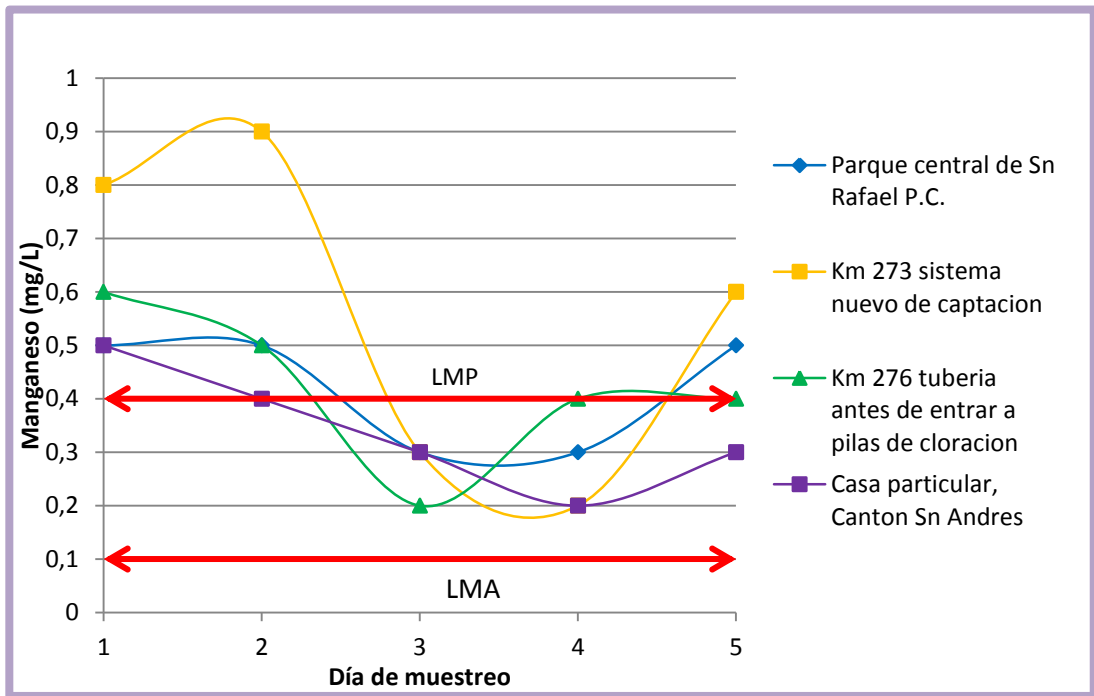
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XXIII. Nitratos encontrados, límite máximo aceptable y permisible

Nitratos (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	35.20	17.16	11.44	15.84	12.50		<50
Km 273 sistema nuevo de captación	42.24	24.20	12.76	15.40	13.80		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	39.60	15.40	10.12	18.04	13.50		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	38.28	13.64	11.44	14.52	20.70		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 19. Manganeso presente en muestras analizadas



Fuente: Apéndice 1.

Tabla XXIV. **Manganeso encontrado, límite máximo aceptable y permisible**

Manganeso (mg/L)							
Ubicación vs Día	1	2	3	4	5	LMA	LMP
Parque central de Sn Rafael P.C.	0.50	0.50	0.30	0.30	0.5	0.10	0.50
Km 273 sistema nuevo de captación	0.80	0.90	0.30	0.20	0.6		
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	0.60	0.50	0.20	0.40	0.4		
Casa particular, Cantón Sn Andrés	0.50	0.40	0.30	0.20	0.3		

Fuente: Apéndice 1, LMA y LMP: Tabla VI.

Para comprender los resultados microbiológicos de las muestras analizadas, a continuación, se presenta un cuadro guía de cómo realizar su lectura.

Figura 20. **Lectura de resultados microbiológicos**

Día 1 [Toma de muestra Fecha]																Modo de lectura						
	Ubicación 1				Ubicación 2				Ubicación 3				Ubicación 4									
Temperatura	Temperatura al tomar muestra																					
Hora	Hora en que se tomaron las muestras																					
CL 10 mL	•	x	x	x	x	•	•	•	•	x	•	•	•	•	x	x	•	x	x	x	x	Prueba presuntiva, el punto indica resultado positivo y la cruz resultado negativo (esto aplica a todo el cuadro)
CL 1 mL	x	x	x	x	x	•	•	•	•	x	•	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
CL 0.1 mL	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
C EC 10 mL	x					x	x	x	x		x	x	x				x					Prueba para confirmar presencia de E coli en tubos con resultados positivos en prueba presuntiva.
C EC 1 mL						x	x	x	x		x											
C EC 0.1 mL																						
VB 10 mL	x					•	•	x	x		x	x	x				x					Prueba para confirmar presencia de Coliformes en tubos con resultados positivos en prueba presuntiva.
VB 1 mL						•	•	x	x		x											
VB 0.1 mL																						
RESULTADOS																						

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Resultados microbiológicos de la primera muestra

Día 1 [Toma de muestra 02/08/2015]																				
	Parque central de Sn Rafael P.C.					Km 273 sistema nuevo de captacion					Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion					Casa particular, Canton Sn Andres				
Temperatura	22 °C					22 °C					23 °C					24 °C				
Hora	8:15 AM					8:30 AM					8:35 AM					8:54 AM				
CL 10 mL	•	x	x	x	x	•	•	•	•	x	•	•	•	x	x	•	x	x	x	x
CL 1 mL	x	x	x	x	x	•	•	•	•	x	•	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CL 0.1 mL	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C EC 10 mL	x					x	x	x	x		x	x	x			x				
C EC 1 mL						x	x	x	x		x									
C EC 0.1 mL																				
VB 10 mL	x					•	•	x	x		x	x	x			x				
VB 1 mL						•	•	x	x		x									
VB 0.1 mL																				
RESULTADOS	<2 E. coli en 100 mL de agua					<2 E. coli en 100 mL de agua					<2 coliformes en 100 mL de agua					<2 coliformes en 100 mL de agua				
	<2 coliformes en 100 mL de agua					9 coliformes en 100 mL de agua					<2 coliformes en 100 mL de agua					<2 coliformes en 100 mL de agua				

Fuente: Apéndice 1.

Figura 22. Resultados microbiológicos de segunda muestra

Día 2 [Toma de muestra 09/08/2015]																				
	Parque central de Sn Rafael P.C.					Km 273 sistema nuevo de captacion					Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion					Casa particular, Canton Sn Andres				
Temperatura	22 °C					22 °C					24 °C					23 °C				
Hora	8:05 AM					8:20 AM					8:25 AM					8:40 AM				
CL 10 mL	•	x	x	x	x	•	•	•	x	x	•	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CL 1 mL	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CL 0.1 mL	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C EC 10 mL	x					•	•	x			x									
C EC 1 mL																				
C EC 0.1 mL																				
VB 10 mL	•					•	•	•			•									
VB 1 mL																				
VB 0.1 mL																				
RESULTADOS	<2 E. coli en 100 mL de agua					4 E. coli en 100 mL de agua					<2 E. coli en 100 mL de agua					<2 E. coli en 100 mL de agua				
	2 coliformes en 100 mL de agua					8 coliformes en 100 mL de agua					2 coliformes en 100 mL de agua					<2 coliformes en 100 mL de agua				

Fuente: Apéndice 1.

Figura 23. Resultados microbiológicos de la tercera muestra

Día 3 [Toma de muestra 16/08/2015]																					
	Parque central de Sn Rafael P.C.					Km 273 sistema nuevo de captacion					Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion					Casa particular, Canton Sn Andres					
Temperatura	23 °C					23 °C					24 °C					23 °C					
Hora	3:40 PM					4:00 PM					4:05 PM					3:23 PM					
CL 10 mL	x	x	x	x	x	•	•	•	•	•	•	•	•	•	x	x	x	x	x	x	x
CL 1 mL	•	x	x	x	x	•	•	x	x	x	•	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CL 0.1 mL	•	x	x	x	x	•	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C EC 10 mL						x	x	x	x	x	x	x	x								
C EC 1 mL	x					x	x				x										
C EC 0.1 mL	x					x															
VB 10 mL						•	•	x	x	•	•	x	x								
VB 1 mL	x					•	x				•										
VB 0.1 mL	x					•															
RESULTADOS	<2 E. coli en 100 mL de agua					9 E. coli en 100 mL de agua					4 E. coli en 100 mL de agua					<2 E. coli en 100 mL de agua					
	<2 coliformes en 100 mL de agua					9 coliformes en 100 mL de agua					4 coliformes en 100 mL de agua					<2 coliformes en 100 mL de agua					

Fuente: Apéndice 1.

Figura 24. **Resultados microbiológicos de la cuarta muestra**

Día 4 [Toma de muestra 23/08/2015]																				
	Parque central de Sn Rafael P.C.					Km 273 sistema nuevo de captacion					Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloracion					Casa particular, Canton Sn Andres				
Temperatura	22 °C					22 °C					23 °C					23 °C				
Hora	9:17 AM					9:33 AM					9:35 AM					10:15 AM				
CL 10 mL	x	x	x	x	x	•	•	x	x	x	•	•	•	•	•	x	x	x	x	x
CL 1 mL	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	•	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CL 0.1 mL	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C EC 10 mL						x	x				x	x	x	x	x					
C EC 1 mL											x									
C EC 0.1 mL																				
VB 10 mL						x	x				•	•	•	•	•					
VB 1 mL											•									
VB 0.1 mL																				
RESULTADOS	<2 E. coli en 100 mL de agua					<2 E. coli en 100 mL de agua					<2 E. coli en 100 mL de agua					<2 E. coli en 100 mL de agua				
	<2 coliformes en 100 mL de agua					<2 coliformes en 100 mL de agua					30 coliformes en 100 mL de agua					<2 coliformes en 100 mL de agua				

Fuente: Apéndice 1.

Figura 25. **Resultados microbiológicos de la quinta muestra**

Día 5 [Toma de muestra 15/11/2015]																				
	Parque central de Sn Rafael P.C.					Km 273 sistema nuevo de captacion					Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloracion					Casa particular, Canton Sn Andres				
Temperatura	23 °C					22 °C					22 °C					23 °C				
Hora	9:45 AM					10:05 AM					10:07 AM					10:23 AM				
CL 10 mL	x	x	x	x	x	●	x	x	x	x	●	●	●	●	●	●	●	x	x	x
CL 1 mL	x	x	x	x	x	●	x	x	x	x	●	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CL 0.1 mL	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C EC 10 mL						●					●	x	x	x	x	x	x			
C EC 1 mL						x					x									
C EC 0.1 mL																				
VB 10 mL						●					x	x	x	x	x	x	x			
VB 1 mL						x					x									
VB 0.1 mL																				
RESULTADOS	<2 E. coli en 100 mL de agua					2 E. coli en 100 mL de agua					2 E. coli en 100 mL de agua					<2 E. coli en 100 mL de agua				
	<2 coliformes en 100 mL de agua					2 coliformes en 100 mL de agua					<2 coliformes en 100 mL de agua					<2 coliformes en 100 mL de agua				

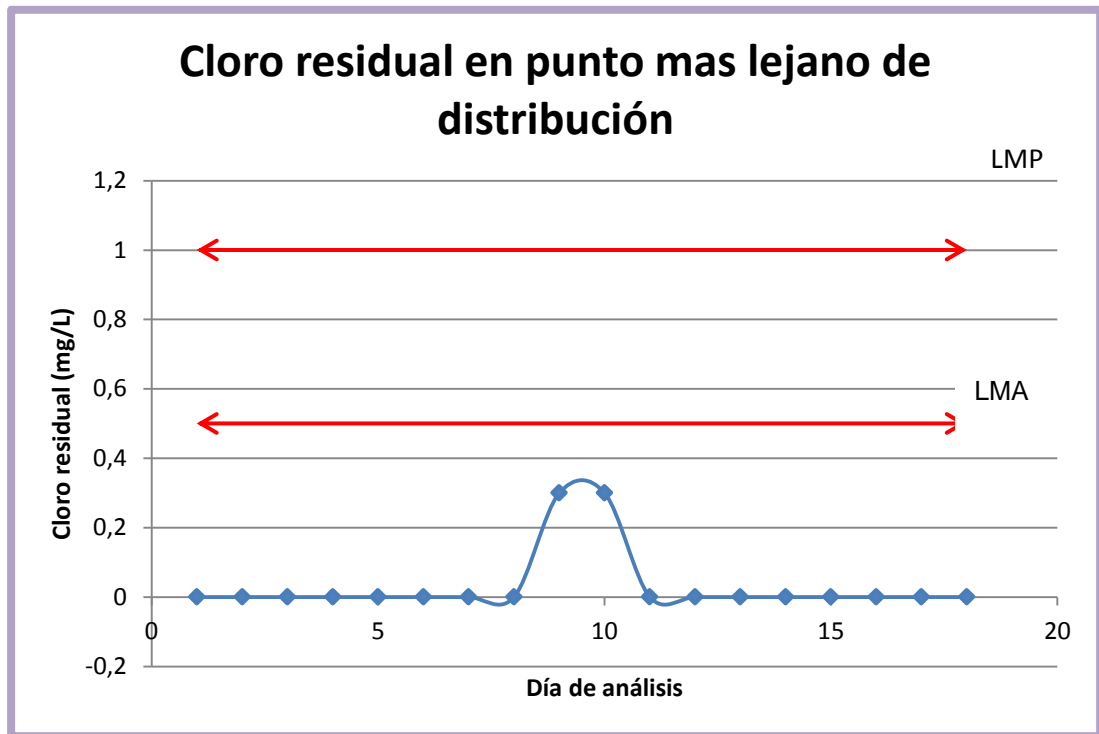
Fuente: Apéndice 1.

Tabla XXV. **Resultados de color de muestras analizadas**

Color (unidad Pt)								
Ubicación vs día	1	2	3	4	5	LMA	LMP	
Parque central de Sn Rafael P.C.	1	1	1	1	1	5	35	
Km 273 sistema nuevo de captación	1	1	1	1	1			
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	1	1	1	1	1			
Casa particular, Cantón Sn Andrés	1	1	1	1	1			

Fuente: Apéndice 1; LMA y LMP: Tabla VI.

Figura 26. Cloro residual de muestras analizadas



Fuente: Apéndice 1.

Tabla XXVI. Datos de gráfica y rangos permisibles

Datos	LMA	LMP
Ubicados en apéndice 1.	0.5 mg/L	1.0 mg/L

Fuente: Apéndice 1, Tabla VI.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Durante los días domingo, comprendidos entre el 2 y 23 de agosto y 15 de noviembre del año 2015, época de invierno durante la cual se presentan lluvias en el municipio de San Rafael P.C., se realizó la toma de muestras de agua potable en cuatro puntos que conforman el sistema de captación y distribución de este líquido en este municipio. Como resultado se obtuvieron 20 muestras que se analizaron semanalmente en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, ubicado en el edificio T5 de la Facultad de Ingeniería de la USAC. La toma y el análisis de muestras fueron realizados por la investigadora.

Durante los días comprendidos del 22 de febrero al 01 de abril del año 2016, la investigadora llevó a cabo los análisis de cloro residual. Estableció la periodicidad de días alternos, en el punto más alejado del sistema de distribución, para reafirmar los datos obtenidos anteriormente. Los análisis no se realizaron diariamente porque no se contó con suficiente reactivo, en todo caso, la cloración del agua en el municipio no se realizaba todos los días.

En la sección de Resultados, algunas Figuras presentan líneas rojas continuas, las cuales indican los rangos en los que las características evaluadas son aceptables y permisibles. Estas únicamente fueron colocadas en las Figuras donde los resultados estaban cercanos a LMA y LMP, ya que en caso contrario el despliegue de datos no era distinguible. Las fechas y horas de la toma de muestras se indican en el Apéndice 1.

Los resultados obtenidos en cuanto a características físicas, como lo son: color, temperatura, sólidos totales, turbiedad y conductividad; se pueden

observar en las Figuras 5, 6 y 7; así como las Tablas X-XII y XXV. Se observa que los valores de dichas propiedades se encuentran dentro del rango establecido por la Norma COGUANOR 29001, en la que está basado el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano” creado por el MSPAS, por lo que de acuerdo con la percepción sensorial de quien la consume no habrá molestias, ni desagrado al utilizarla. Esto es importante porque dichas características tienen incidencia directa en las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua para su consumo; la ausencia de elevadas cantidades de parámetros puede indicar previamente, el hecho de que el agua se encuentre contaminada.

Las características químicas analizadas, como pH, cloruros, calcio, alcalinidad, magnesio, dureza, nitritos, fluoruros, hierro, amoníaco y sulfato, se pueden observar los resultados en las Figuras 4, 8-18 y en las Tablas IX, XIII-XXIII. Los valores obtenidos, también, se encuentran dentro del rango antes mencionado. Esto es favorable, porque los metales son tóxicos si se consumen, y pueden afectar el sabor del agua. Algunos aniones son necesarios para el organismo y presencia de vida de microorganismos, también aportan sabor al agua, por lo que los resultados obtenidos con las muestras son benignos. Los parámetros asociados con la dureza pueden afectar a tuberías y propiciar la formación de sarro, y ya que están dentro de rango es poco probable que esto ocurra.

Los valores obtenidos para concentración de manganeso presente en las muestras se observan en la Figura 19 y Tabla XXIV. Se puede ver que tres valores sobrepasan el límite máximo permisible, sin embargo, se trata de las muestras tomadas en km 273 sistema nuevo de captación y km 276, tubería antes de entrar a pilas de cloración, las cuales están ubicadas antes de que el agua sea tratada para ser distribuida al municipio. Se puede comprobar que

luego del tratamiento y el recorrido, el agua llega al municipio con una concentración de manganeso aceptable, dentro del rango establecido. La presencia de este, fuera de los límites máximos permisibles, podría ocasionar mal sabor al agua y manchas en la ropa si se le da uso doméstico.

El cloro residual presente en el punto más lejano se puede observar en la Figura 26 y Apéndice 1. Se puede observar que, únicamente en dos días de todos los analizados, hubo presencia de cloro residual, siempre bajo el límite máximo aceptable. El agua, normalmente, debe contener cloro residual para asegurar la desinfección a través de todos los puntos de la red de distribución tomando en cuenta el punto más lejano como punto crítico.

Los resultados microbiológicos se observan en las Figuras 21-25. Los cuadros amarillos indican posible presencia de microorganismos en la muestra, y los cuadros rojos, la presencia de microorganismos en la muestra que se creía presuntiva. Se encontraron bacterias en los puntos siguientes: km 273, sistema nuevo de captación y km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración, los cuales están ubicados antes del tratamiento que se le da al agua. Esto disminuye de manera favorable, al llegar a lugares de consumo, como el parque central y el hogar analizado en uno de los puntos más lejanos. La cloración del agua, a pesar de no contar con cloro residual, es suficiente para que los microorganismos no se reproduzcan y ocasionen enfermedades a los consumidores.

CONCLUSIONES

1. Los valores de las características físicas, químicas y biológicas del agua potable distribuida en el municipio de San Rafael Pie de la Cuesta, están dentro del rango establecido en el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano” del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, en los puntos de consumo directo, luego del proceso de cloración del agua. Con ello, se comprueba la hipótesis nula propuesta.
2. No se observa variabilidad notable en los parámetros medidos en la época en que se realizó el estudio.
3. El agua es segura para consumo, ya que no hay presencia de microorganismos y sustancias químicas que perjudiquen la salud del usuario en los puntos luego de la cloración del agua.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio de suelo en la región por donde pasa el agua del nacimiento, esto coordinado por la Municipalidad de San Rafael P.C., para verificar la incidencia de este, en la cantidad de manganeso presente, pues éste puede provocar manchas café-rojizas en superficies donde pasa.
2. Al realizar la dosificación de cloro en el sistema de agua potable por la persona designada por la Municipalidad de San Rafael P.C. verificar que sea la dosis correcta (determinada mediante estudios previos al agua de los nacimientos) para asegurar un consumo seguro a quienes utilizan el vital líquido.
3. Realizar control periódico microbiológico del agua que se distribuye en el municipio, basado en el “Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano” del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, coordinando dicho análisis entre la Municipalidad de San Rafael P.C. y personas encargadas de MSPAS.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Water Works Association. (2002). *Calidad y tratamiento del agua*. 1era Edición. Editorial McGraw-Hill. España.
2. APELLA, María. *Microbiología del agua. Conceptos básicos*. Centro de Referencia para Lactobacilos y Universidad Nacional de Tucumán. Buenos Aires, Argentina. 2006.
3. Comisión Guatemalteca de Normas; Ministerio De Economía. *Norma Técnica Guatemalteca: COGUANOR NTG 29001. Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones*.
4. Corporación Autónoma Regional de Tolima. *Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca Hidrográfica Mayor del Rio Totare*. México, 2007.
5. EATON, Andrew et al. *Standard Methods. Microbiological Examination*. Gentennial Edition, 21st Edition. 2005.
6. *Environmental Protection Agency. Las Preguntas Comunes y sus Respuestas Sobre el Nitrato y el Agua Potable*. Octubre 2012.
7. FUENTES LÓPEZ, Verónica. *Municipio San Rafael Pie de la Cuesta, departamento de San Marcos. Financiamiento De Unidades Agrícolas (Producción de Café) y Proyecto: Producción de Zanahoria*. Universidad de San Carlos, Facultad de Ciencias Económicas, 2011.

8. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Manual de especificaciones para la vigilancia y el Control de la calidad del agua para consumo humano. Acuerdo Gubernativo Número 83-2013.*
9. MONTESDEOCA, Cárol. *Folleto Técnico INDUQUIM ACI-004 Determinación de Cloro Residual y Cloro Total.* [Ref. de 20 de abril del 2015]. Disponible en web: <http://induquimgonveg.com/files/DeterminaciondeCloroResidualyCloroTotal.pdf>
10. Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable.* Volumen 1, Tercera Edición. Suiza, 2006.
11. Organización Panamericana de la Salud. *Guías para la Calidad del Agua Potable.* Vol. 3, Publicación Científica N° 58. Washington, 1988.
12. ROMERO, Mynor. *Tratamientos Utilizados en Potabilización de Agua* [en línea]. Guatemala, Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar. < mynor.romero@ecolab.com >.
13. SOLÓRZANO, Rita Yesenia. *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial proveniente de la planta de tratamiento la carbonera, municipio de Sanarate, departamento de El Progreso, Guatemala.* Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005.

14. Superintendencia de Servicios Sanitarios. *Manual de Métodos de Ensayo Para Agua Potable*. Chile, junio 2007.
15. Universidad De San Carlos, Facultad de Ingeniería, Escuela Regional De Ingeniería Sanitaria Y Recursos Hidráulicos, Laboratorio De Química Y Microbiología Sanitaria. *Manual de Prácticas de laboratorio: Química del agua*.

APÉNDICES

Apéndice 1. Resultados de análisis fisicoquímico y microbiológico de las 20 muestras de agua potable tomadas

Resultados de análisis de pH

pH					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	7,18	6,49	7,40	7,81	6,95
Km 273 sistema nuevo de captacion	6,89	6,56	7,00	7,45	7,12
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	6,72	6,66	6,90	7,18	6,98
Casa particular, Canton Sn Andres	6,67	6,91	7,10	7,12	6,96

Fuente: investigadora.

Resultados de color

Color (unidad Pt)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	1	1	1	1	1
Km 273 sistema nuevo de captacion	1	1	1	1	1
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	1	1	1	1	1
Casa particular, Canton Sn Andres	1	1	1	1	1

Fuente: investigadora.

Resultados de conductividad

Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	80,1	79,3	79,2	79,2	79,2
Km 273 sistema nuevo de captacion	80,2	79,5	79,4	79,3	79,2
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	99,5	97,3	97,6	99,0	94,8
Casa particular, Canton Sn Andres	80,4	79,6	79,5	79,5	79,3

Fuente: investigadora

Resultados de sólidos disueltos

Sólidos disueltos (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	43	42	42	42	42
Km 273 sistema nuevo de captacion	43	42	42	42	42
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	53	52	52	52	50
Casa particular, Canton Sn Andres	43	42	42	42	42

Fuente: investigadora

Resultados de cloruros

Cloruros (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	7,5	7,5	4,0	8,0	5,0
Km 273 sistema nuevo de captacion	7,5	8,5	4,0	5,5	5,0
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	8,5	9,5	4,8	5,5	5,0
Casa particular, Canton Sn Andres	7,0	9,0	4,0	5,0	5,5

Fuente: investigadora.

Resultados de calcio

Calcio (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	8,016	4,008	5,611	14,429	12,024
Km 273 sistema nuevo de captacion	8,016	5,611	5,611	8,016	16,834
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	8,818	8,016	7,214	12,826	16,032
Casa particular, Canton Sn Andres	5,611	8,016	5,611	7,214	8,016

Fuente: investigadora

Resultados de alcalinidad

Alcalinidad (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	40	46	40	40	40
Km 273 sistema nuevo de captacion	50	44	36	44	40
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	46	60	44	60	60
Casa particular, Canton Sn Andres	30	50	36	40	40

Fuente: investigadora

Resultados de dureza

Dureza (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	40	20	50	26	40
Km 273 sistema nuevo de captacion	30	24	48	20	40
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	68	28	56	34	60
Casa particular, Canton Sn Andres	48	24	52	24	56

Fuente: investigadora

Resultados de magnesio

Magnesio (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	31,984	15,992	44,389	11,571	27,976
Km 273 sistema nuevo de captacion	21,984	18,389	42,389	11,984	23,166
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	59,182	19,984	48,786	21,174	43,968
Casa particular, Canton Sn Andres	42,389	15,984	46,389	16,786	47,984

Fuente: investigadora

Resultados de turbidez

Turbidez (NTU)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	0,400	0,306	0,497	0,542	0,405
Km 273 sistema nuevo de captacion	0,350	0,287	0,440	0,779	0,538
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	0,200	0,357	0,257	0,632	0,568
Casa particular, Canton Sn Andres	0,500	0,318	0,361	0,480	0,337

Fuente: investigadora

Resultados de nitritos

Nitritos (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	0,0099	0,0330	0,0132	0,0462	0,0130
Km 273 sistema nuevo de captacion	0,0033	0,0297	0,0198	0,0132	0,0150
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	0,0033	0,0198	0,0132	0,0066	0,0150
Casa particular, Canton Sn Andres	0,0000	0,0297	0,0132	0,0165	0,0130

Fuente: investigadora

Resultados de nitratos

Nitratos (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	35,20	17,16	11,44	15,84	12,50
Km 273 sistema nuevo de captacion	42,24	24,20	12,76	15,40	13,80
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	39,60	15,40	10,12	18,04	13,50
Casa particular, Canton Sn Andres	38,28	13,64	11,44	14,52	20,70

Fuente: investigadora

Resultados de fluoruros

Fluoruro (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	0,26	0,15	0,09	0,15	0,19
Km 273 sistema nuevo de captacion	0,21	0,12	0,00	0,25	0,21
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	0,22	0,17	0,05	0,04	0,11
Casa particular, Canton Sn Andres	0,15	0,13	0,04	0,02	0,20

Fuente: investigadora

Resultados de hierro

Hierro (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	0,01	0,01	0,03	0,08	0,06
Km 273 sistema nuevo de captacion	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloración	0,02	0,02	0,01	0,05	0,10
Casa particular, Canton Sn Andres	0,00	0,03	0,00	0,08	0,14

Fuente: investigadora

Resultados de amoniaco

Amoniaco (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	0,0774	0,0903	0,0903	0,0000	0,0129
Km 273 sistema nuevo de captacion	0,0000	0,0516	0,0645	0,0800	0,0129
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloracion	0,0129	0,0000	0,0258	0,0000	0,0000
Casa particular, Canton Sn Andres	0,0645	0,0516	0,0774	0,0100	0,0258

Fuente: investigadora

Resultados de sulfato

Sulfato (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	1	3	1	1	1
Km 273 sistema nuevo de captacion	3	3	2	0	4
Km 276 tubería antes de entrar a pilas de cloracion	3	3	3	2	1
Casa particular, Canton Sn Andres	2	3	2	2	0

Fuente: investigadora

Resultados de manganeso

Manganeso (mg/L)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5
Km 273 sistema nuevo de captacion	0,8	0,9	0,3	0,2	0,6
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	0,6	0,5	0,2	0,4	0,4
Casa particular, Canton Sn Andres	0,5	0,4	0,3	0,2	0,3

Fuente: investigadora

Resultados de temperatura

Temperatura (°C)					
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	22	22	23	22	23
Km 273 sistema nuevo de captacion	22	22	23	22	22
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	23	24	24	23	23
Casa particular, Canton Sn Andres	24	23	23	23	22

Fuente: investigadora

Datos de toma de muestras

Fechas y hora de toma de muestra					
	Fecha	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Día 1	02/08/2015	08:15 a.m.	08:30 a.m.	08:35 a.m.	08:54 a.m.
Día 2	09/08/2015	08:05 a.m.	08:20 a.m.	08:25 a.m.	08:40 a.m.
Día 3	16/08/2015	03:40 p.m.	04:00 p.m.	04:05 p.m.	03:23 p.m.
Día 4	23/08/2015	09:17 a.m.	09:33 a.m.	09:35 a.m.	10:15 a.m.
Día 5	15/11/2015	09:45 a.m.	10:05 a.m.	10:07 a.m.	10:23 a.m.

Fuente: investigadora

Resultados de semana 1 de microbiología

	Punto 1				Punto 2				Punto 3				Punto 4							
CL 10 mL	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-
CL 1 mL	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CL 0.1 mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C EC 10 mL						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C EC 1 mL						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C EC 0.1 mL																				
VB 10 mL	-					+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VB 1 mL						+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VB 0.1 mL																				

Muestra 1

Fecha y hora de siembra de CL: 03/08/2015 10:30 a.m.

Fecha y hora de siembra de EC: 05/08/2015 11:00 a.m.

Fecha y hora de siembra de VB: 03/08/2015 11:15 a.m.

Fuente: investigadora

Resultados de semana 2 de microbiología

	Punto 1				Punto 2				Punto 3				Punto 4						
CL 10 mL	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
CL 1 mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CL 0.1 mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C EC 10 mL	-																		
C EC 1 mL																			
C EC 0.1 mL																			
VB 10 mL	+																		
VB 1 mL																			
VB 0.1 mL																			

Muestra 2

Fecha y hora de siembra de CL: 10/08/2015 10:35 a.m.

Fecha y hora de siembra de EC: 12/08/2015 11:00 a.m.

Fecha y hora de siembra de VB: 12/08/2015 11:16 a.m.

Fuente: investigadora

Resultados de semana 3 de microbiología

	Punto 1				Punto 2				Punto 3				Punto 4							
CL 10 mL	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
CL 1 mL	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
CL 0.1 mL	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C EC 10 mL																				
C EC 1 mL	-																			
C EC 0.1 mL	-																			
VB 10 mL																				
VB 1 mL	-																			
VB 0.1 mL	-																			

Muestra3

Fecha y hora de siembra de CL: 17/08/2015 03:3

p.m.

Fecha y hora de siembra de EC: 19/08/2015 01:30

p.m.

Fecha y hora de siembra de VB: 19/08/2015 01:45

p.m.

Fuente: investigadora

Resultados de semana 4 de microbiología

	Punto 1				Punto 2				Punto 3				Punto 4									
CL 10 mL	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
CL 1 mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CL 0.1 mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C EC 10 mL							-	-				-	-									
C EC 1 mL												-										
C EC 0.1 mL																						
VB 10 mL							-	-				+	+	+	+	+						
VB 1 mL												+										
VB 0.1 mL																						

Muestra 4

Fecha y hora de siembra de CL: 24/08/2015 09:00 a.m.

Fecha y hora de siembra de EC: 26/08/2015 09:00 a.m.

Fecha y hora de siembra de VB: 26/08/2015 09:20 a.m.

Fuente: investigadora

Resultados de semana 5 de microbiología

	Punto 1				Punto 2				Punto 3				Punto 4			
CL 10 mL	+								+	+	+	+	+	+		
CL 1 mL	+								+							
CL 0.1 mL																
C EC 10 mL							+									
C EC 1 mL																
C EC 0.1 mL																
VB 10 mL							+									
VB 1 mL																
VB 0.1 mL																

Muestra 5

Fecha y hora de siembra de CL: 16/11/2015 09:00 a.m.

Fecha y hora de siembra de EC: 18/10/2015 09:00 a.m.

Fecha y hora de siembra de VB: 18/10/2015 10:00 a.m.

Fuente: investigadora

Analisis de cloro residual/pH en el punto mas lejano

Fecha	Día	Hora	Cloro residual (mg/L)	pH
22-02-16	Lunes	4:35 p.m.	0	6.8
24-02-16	Miércoles	4:35 p.m.	0	6.8
26-02-16	Viernes	4:35 p.m.	0	6.8
29-02-16	Lunes	4:35 p.m.	0	6.8
02-03-16	Miércoles	4:35 p.m.	0	6.8
04-03-16	Viernes	4:35 p.m.	0	6.8
08-03-16	Martes	4:35 p.m.	0	6.8
10-03-16	Jueves	4:35 p.m.	0	6.8
12-03-16	Sábado	4:35 p.m.	0.3	6.8
14-03-16	Lunes	4:35 p.m.	0.3	6.8
16-03-16	Miércoles	4:35 p.m.	0	6.8
18-03-16	Viernes	4:35 p.m.	0	6.8
22-03-16	Martes	4:35 p.m.	0	6.8
24-03-16	Jueves	4:35 p.m.	0	6.8
26-03-16	Sábado	10:55 a.m.	0	6.8
28-03-16	Lunes	4:35 p.m.	0	6.8
30-03-16	Miércoles	4:35 p.m.	0	6.8
01-04-16	Viernes	4:35 p.m.	0	6.8

Fuente: investigadora

Resultados de color en muestras analizadas

	Color (unidad Pt)				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Parque central de Sn Rafael P.C.	1	1	1	1	1
Km 273 sistema nuevo de captacion	1	1	1	1	1
Km 276 tuberia antes de entrar a pilas de cloracion	1	1	1	1	1
Casa particular, Canton Sn Andres	1	1	1	1	1

Fuente: investigadora


Apéndice 2. Carta de verificación de análisis realizado por investigadora

Guatemala, 18 de noviembre del 2015

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que la estudiante de Ingeniería Química Andrea Alejandra Morales Hernández quien se identifica con el carné número 2011-14475, realizó los análisis fisicoquímicos y microbiológicos para su trabajo de graduación titulado: **"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA POR LA MUNICIPALIDAD AL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS, GUATEMALA."**, dentro de las instalaciones del Laboratorio de química y microbiología sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sin otro particular,

Atentamente;

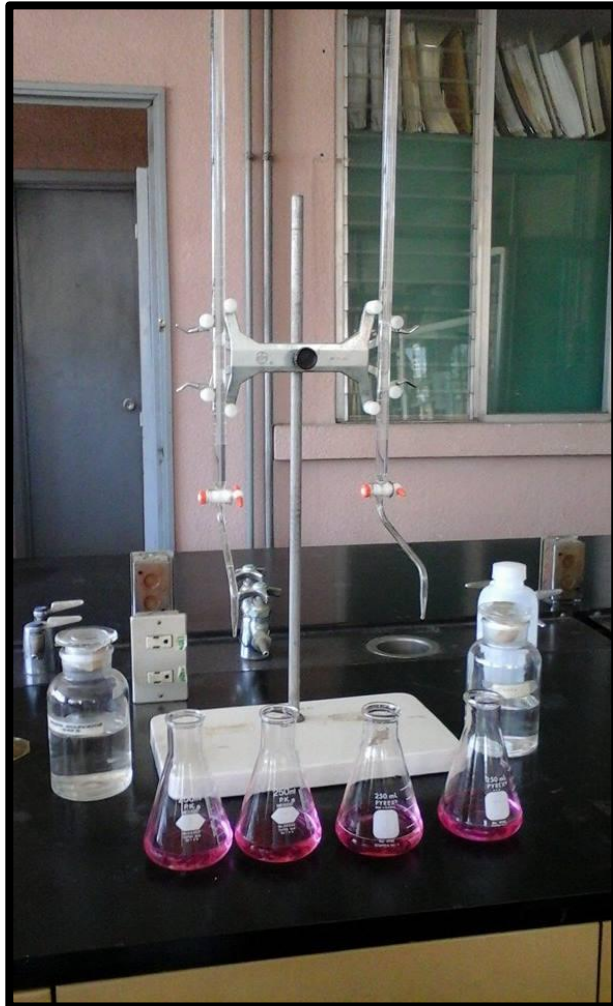

M. Sc. Zenor Mijón
Coordinador de Laboratorio de química y microbiología sanitaria
Facultad de Ingeniería, USAC



Apéndice 3. **Fotografías**

Foto 1-5. **Equipo utilizado en análisis fisicoquímico de muestras de agua potable**





Fuente: Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Edificio T5.

Foto 6. **Sembrado de muestras de agua potable para análisis microbiológico**



Fuente: Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Edificio T5.

Foto 7.

Recipientes utilizados para recolectar muestras



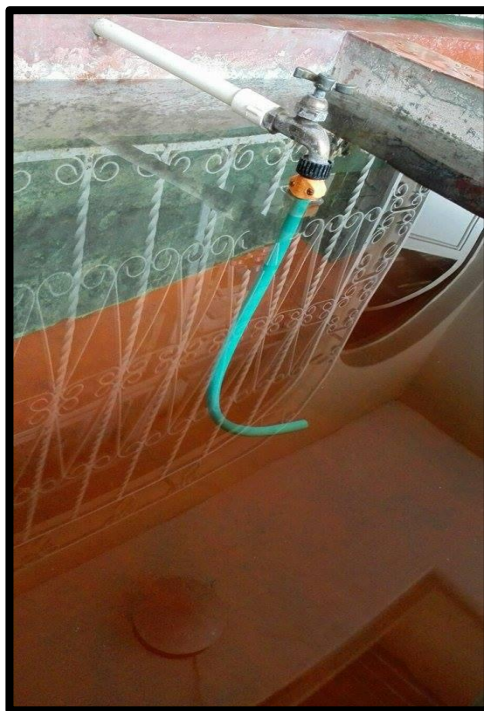
Fuente: Elaboración propia.

Foto 8-10.

Puntos de toma de muestra de agua potable

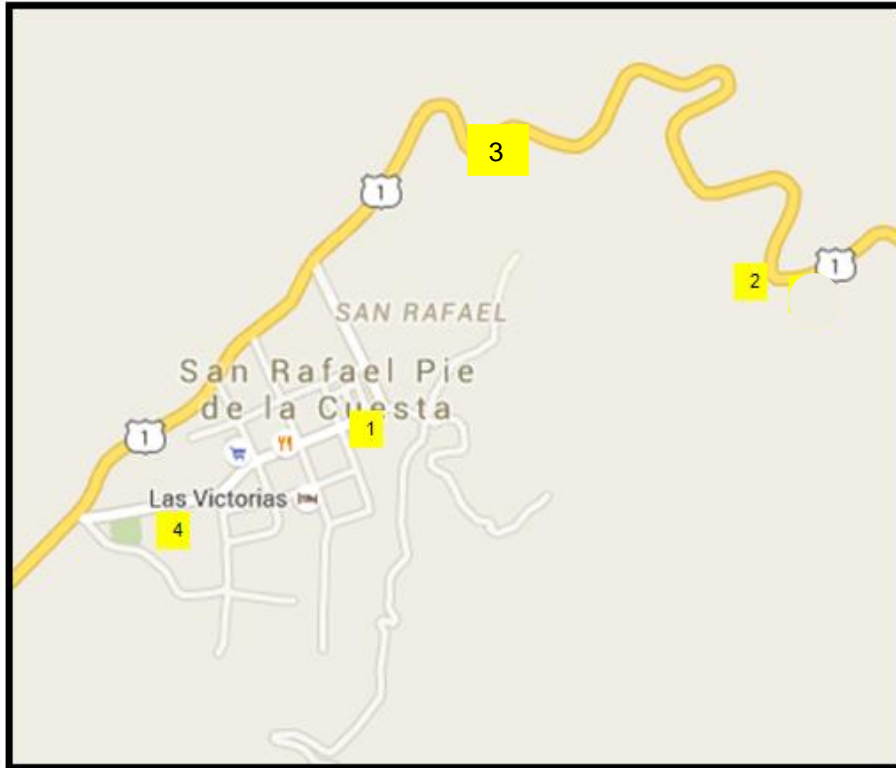


Fuente: Punto 2 de toma de muestra de agua, Elaboración propia.



Fuente: Puntos 1 y 4, elaboración propia.

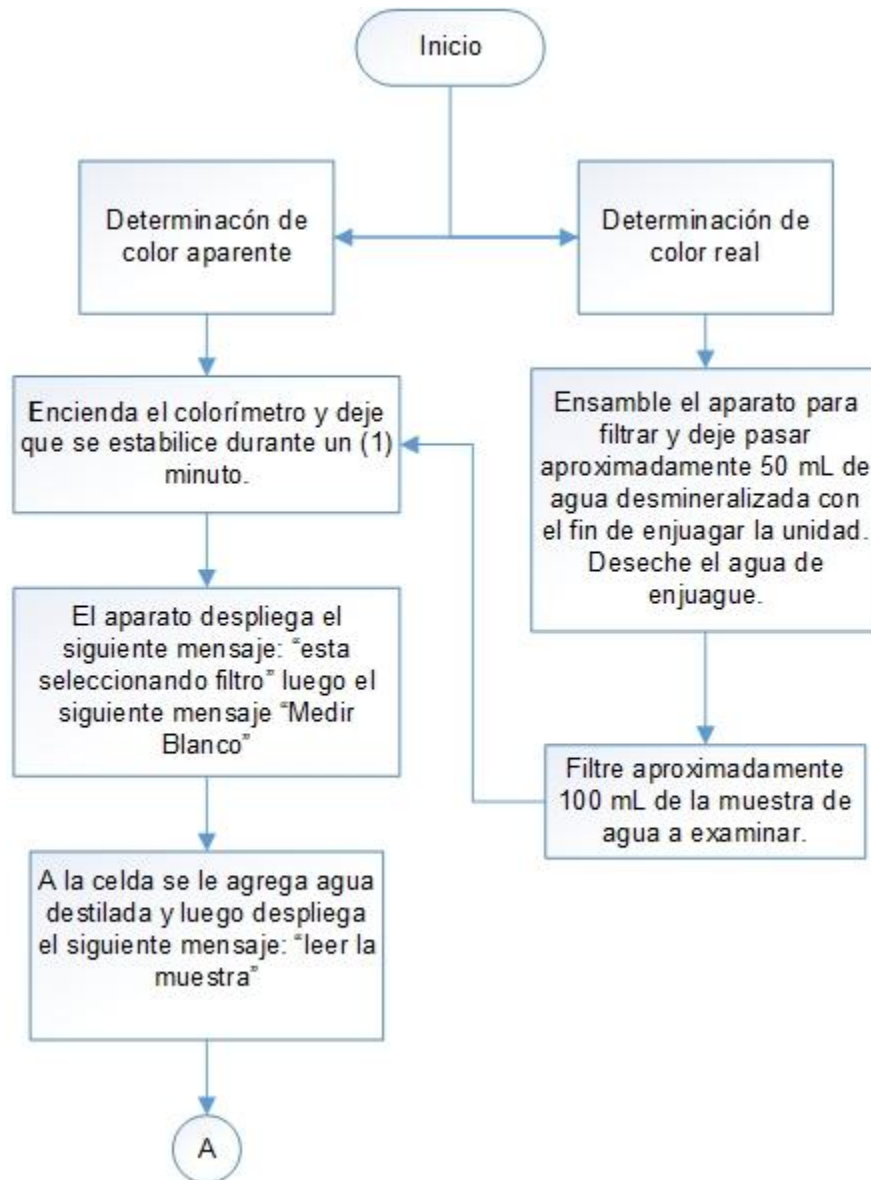
Foto 11. Mapa de San Rafael Pie de la Cuesta, y puntos de toma de muestras de agua

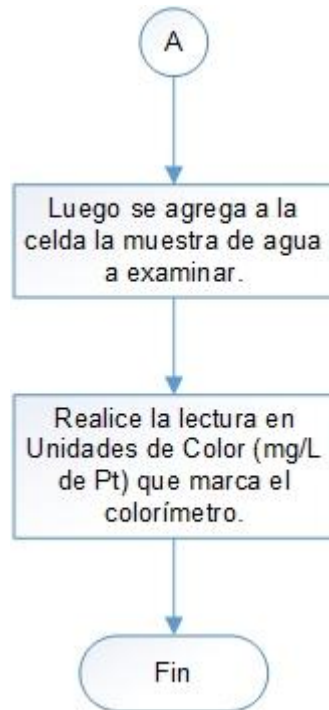


Fuente: Google Maps.

ANEXOS

Anexo 1. Metodología para determinación de color

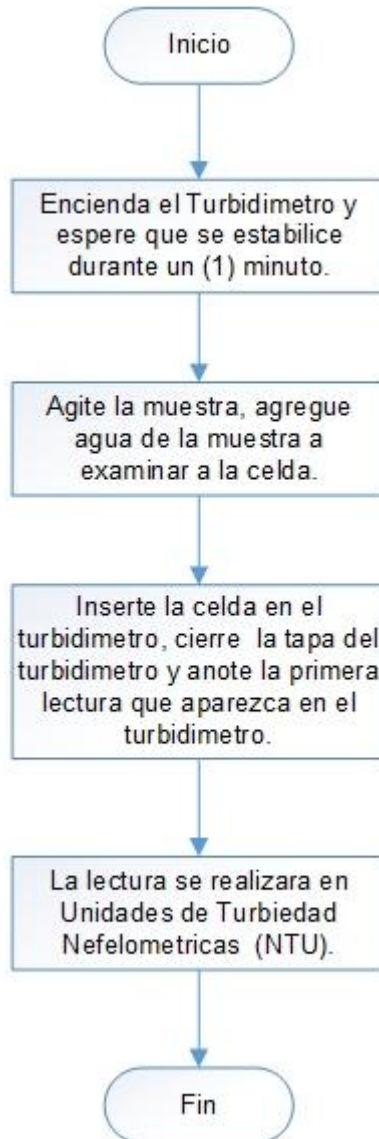




Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 2.

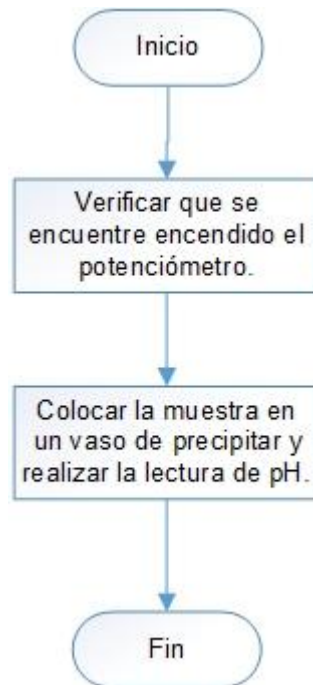
Metodología para la determinación de turbiedad



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

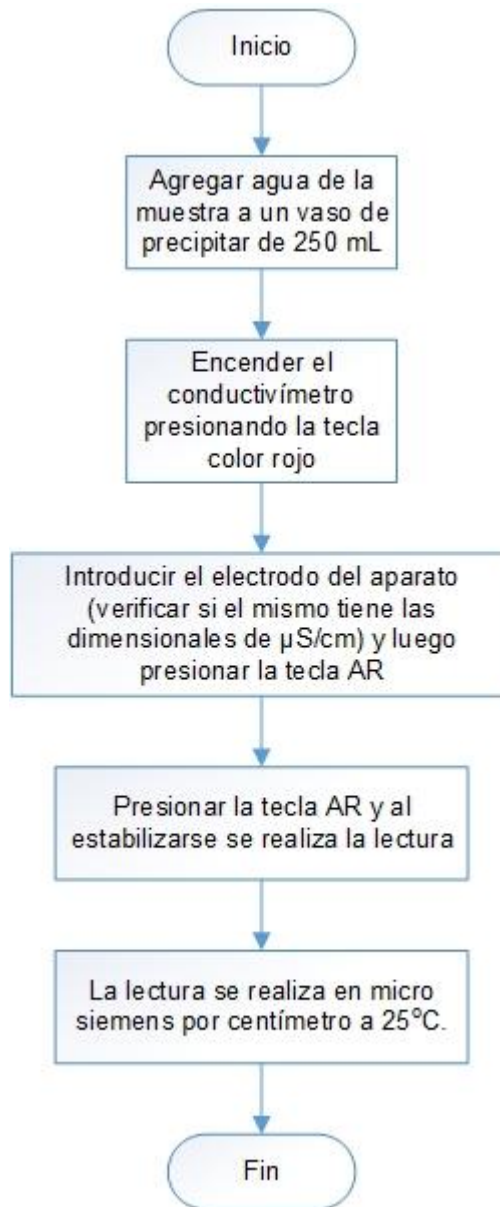
Anexo 3.

Metodología para determinación de pH



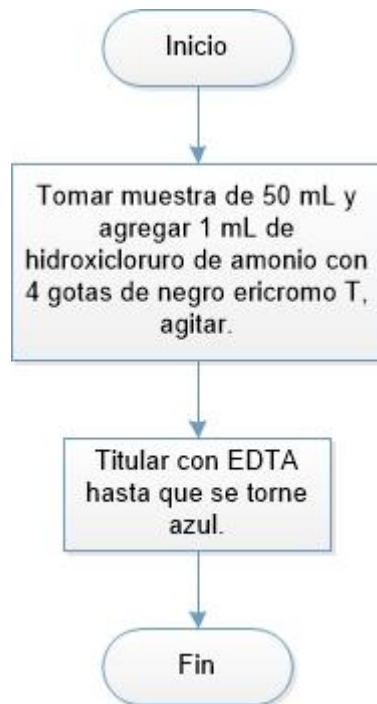
Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 4. Metodología para la determinación de Conductividad eléctrica



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

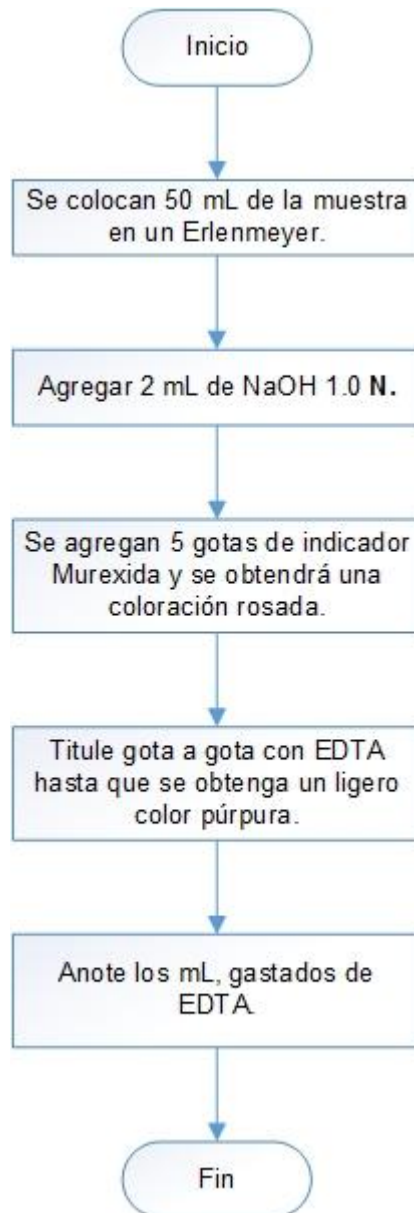
Anexo 6. Metodología para la determinación de dureza total



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 7.

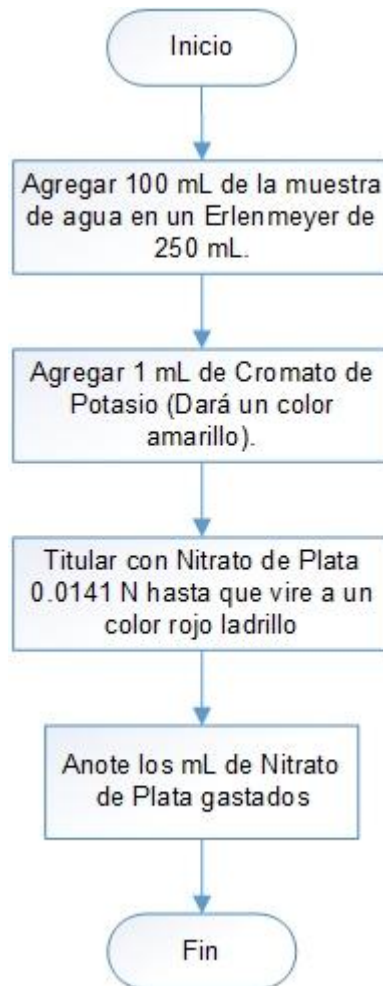
Metodología para la determinación de calcio



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 8.

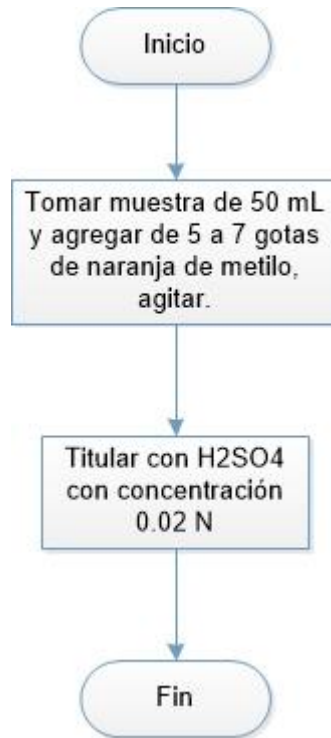
Metodología para la determinación de cloruros



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 9.

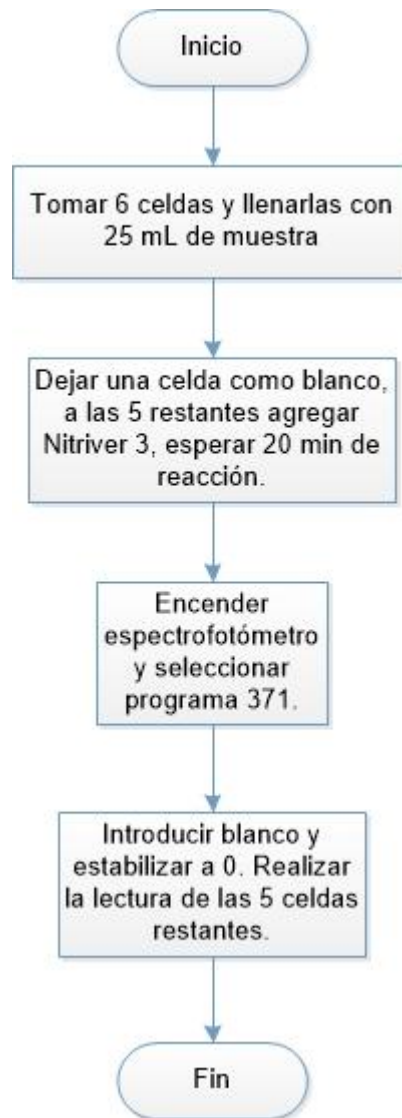
Metodología para determinar alcalinidad



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 10.

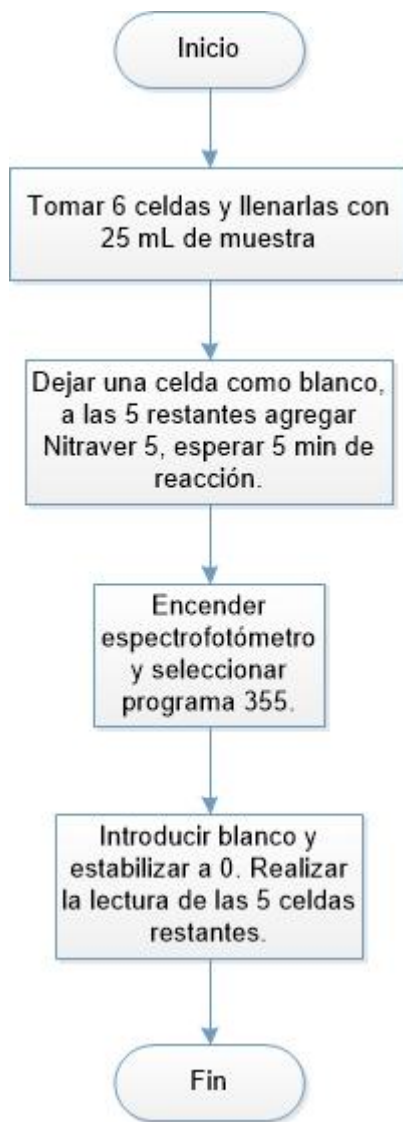
Metodología para determinar nitritos



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 11.

Metodología para determinar nitratos



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 12.

Metodología para determinar hierro



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 13.

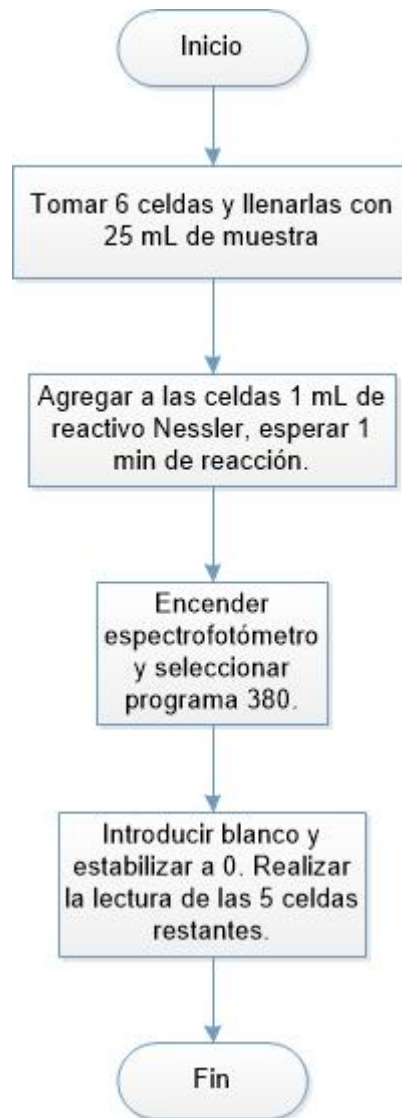
Metodología para determinar fluoruros



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 14.

Metodología para determinar amoníaco



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 15.

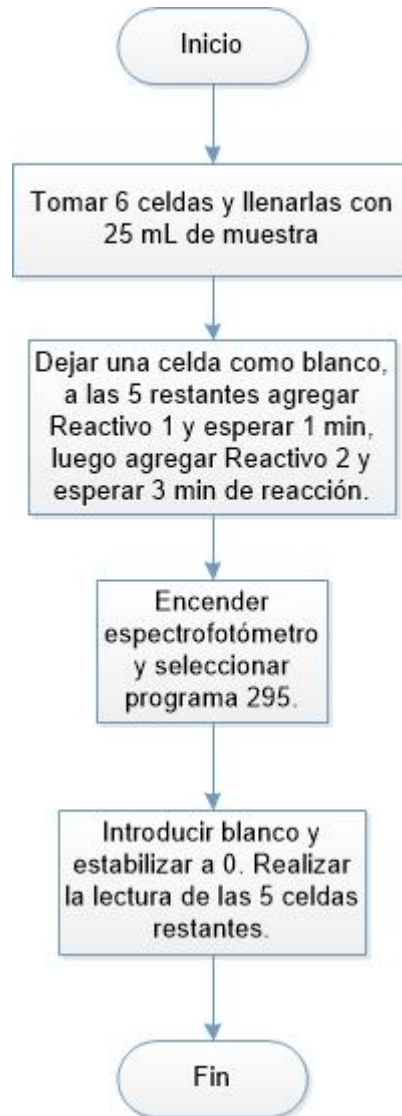
Metodología para determinar sulfato



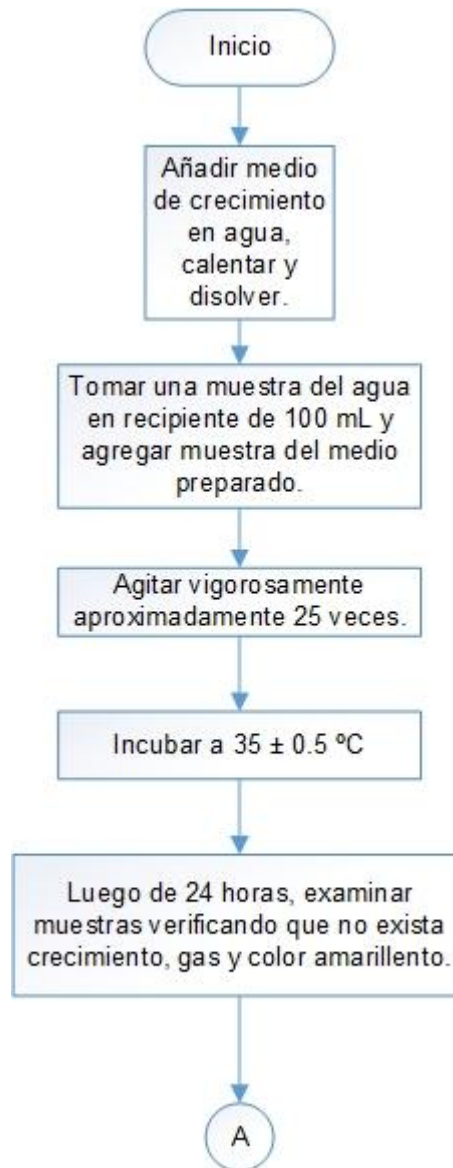
Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.

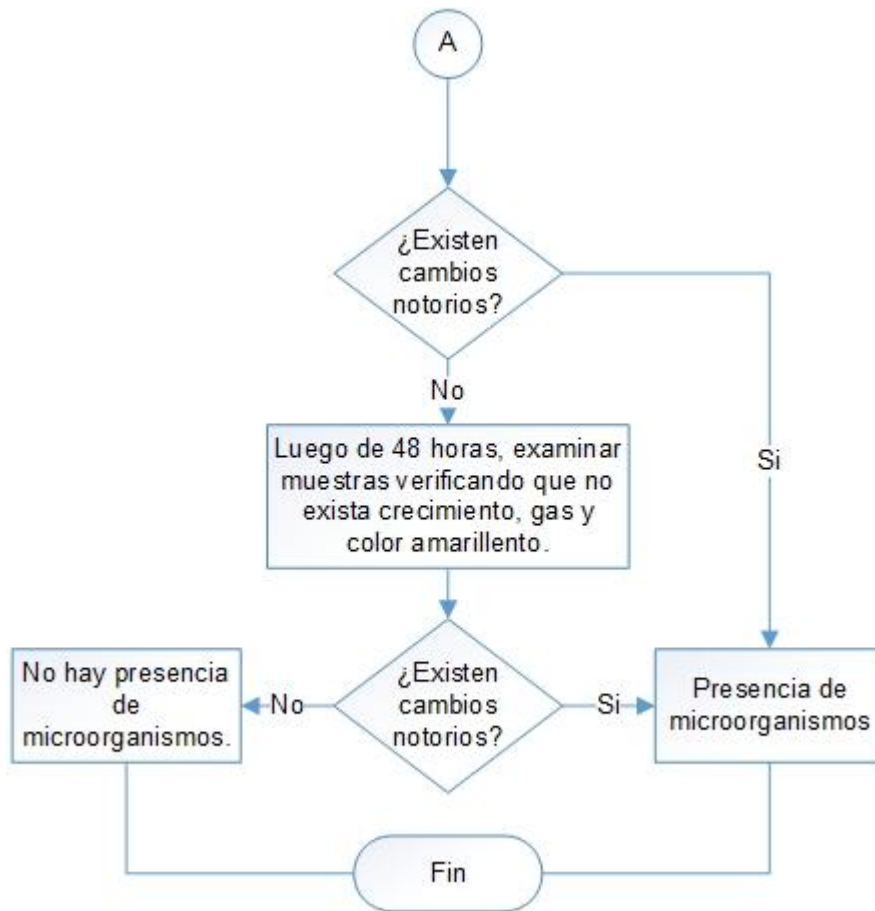
Anexo 16.

Metodología para determinar manganeso



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.





Fuente: Manual de prácticas de laboratorio, Química del agua. Laboratorio de química y microbiología sanitaria, Facultad de Ingeniería, USAC.