



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

**DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LOS POZOS
UBICADOS DENTRO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA CONFORME A LA NORMA COGUANOR 29 001 Y PROPUESTA DE
ACONDICIONAMIENTO**

Orbin Ariel Lima Marroquín

Asesorado por el Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez

Guatemala, abril de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LOS POZOS
UBICADOS DENTRO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA CONFORME A LA NORMA COGUANOR 29 001 Y PROPUESTA DE
ACONDICIONAMIENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ORBIN ARIEL LIMA MARROQUÍN

ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR MANUEL MONZÓN VALDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Inga. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Manuel Emilio Figueroa Solares
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:

**DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LOS POZOS
UBICADOS DENTRO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA CONFORME A LA NORMA COGUANOR 29 001 Y PROPUESTA DE
ACONDICIONAMIENTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 14 de noviembre de 2018.

Orbin Ariel Lima Marroquín

Guatemala, julio de 2020

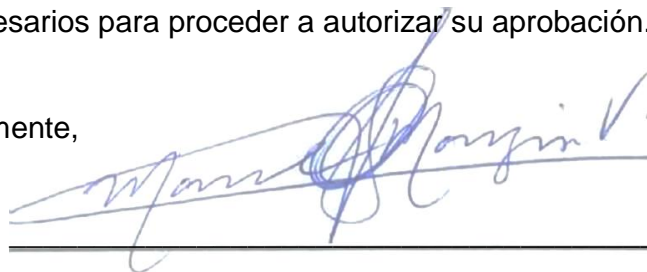
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado ingeniero Álvarez Mejía:

Por la presente me permito informarle que he leído el contenido del informe final del Trabajo de Graduación denominado: "DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LOS POZOS UBICADOS DENTRO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CONFORME A LA NORMA COGUANOR 29 001 Y PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO", desarrollado por el estudiante de Ingeniería Química, Orbin Ariel Lima Marroquín, con carné 201213403 y CUI 2227 25605 1805.

Después de haber revisado dicho documento, considero que cumple con los requisitos necesarios para proceder a autorizar su aprobación.

Atentamente,



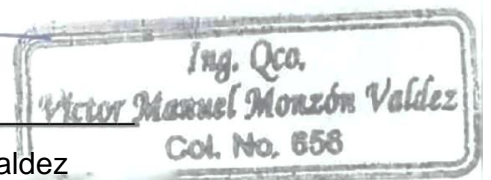
Ingeniero Químico Víctor Manuel Monzón Valdez

Colegiado No. 656

Coordinador del Área de Química, Escuela de Ingeniería Química.

Facultad de Ingeniería, USAC.

Asesor del Trabajo de Graduación





Guatemala, 13 de noviembre de 2020.
Ref. EIQ.TG-IF.042.2020.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **067-2018**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Orbin Ariel Lima Marroquín**.

Identificado con número de carné: **2227256051805**.

Identificado con registro académico: **201213403**.

Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.

En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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:


**DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE
LOS POZOS UBICADOS DENTRO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CONFORME A LA NORMA
COGUANOR 29 001 Y PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Víctor Manuel Monzón Valdez, profesional de la Ingeniería Química

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

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ll. Ingrid Lorena Benitez P.
Química
Escuela de Ingeniería y Tecnología
del Medio Ambiente
Colegiado No. 1974
Ingrid Lorena Benitez P.
profesional de la Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



Guatemala, 23 de marzo de 2021.
Ref. EIQ.049.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LOS POZOS UBICADOS DENTRO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CONFORME A LA NORMA COGUANOR 29 001 Y PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO** del(la) estudiante Orbin Ariel Lima Marroquín, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Williams G. Alvarez Mejia, M.I.C. M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo
WGAM/mpea



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939

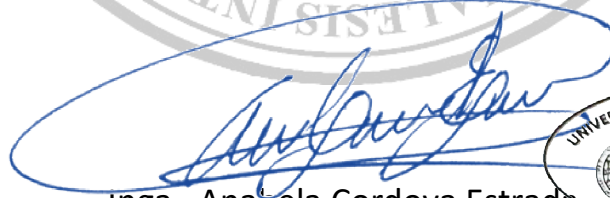


NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA

DTG. 129.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LOS POZOS UBICADOS DENTRO DEL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CONFORME A LA NORMA COGUANOR 29 001 Y PROPUESTA DE ACONDICIONAMIENTO**, presentado por el estudiante universitario: **Orbin Ariel Lima Marroquín**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, abril de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Quien como guía está presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar sin desfallecer.
Mi abuelita	Romana Zuleta. Todo lo que soy y espero ser se lo debo al angelical amor de mi madre.
Mi abuelito	Isidro Marroquín (q. e. p. d.). A pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento habría sido tan especial para ti como lo es para mí.
Mi madre	Rosalina Marroquín. Quien fue el sustento en todo momento para la realización de esta meta, permitiéndome continuar pese a todos los obstáculos que se presentaron en el trayecto.
Mi hermano	André Marroquín. Por ser una fuente de alegría en mi vida.
Mis tíos	Por apoyarme a lo largo de mi vida.
Mis primos	Por los momentos felices.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por su incondicional amor, estar conmigo en cada paso que doy, fortalecer mi corazón e iluminar mi mente. Y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante toda la vida.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de realizarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por ayudarme a desarrollar mis habilidades como ingeniero.
Mis abuelitos	Isidro Marroquín (q. e. p. d) y Romana Zuleta. Mi padre y mi madre, por ser el pilar más importante para lograr los objetivos propuestos. Con su ejemplo y amor profundo me encaminaron en la vida, siempre con la esperanza y la fe puestas en Dios.
Mi madre	Rosalina Marroquín. Por el esfuerzo, paciencia, confianza y por todo lo que me ha dado a lo largo de mi carrera y de mi vida.
Mi familia	Por sus consejos, ayuda y amor.

**Mis amigos de la
Facultad**

Gracias a su apoyo moral me permitieron permanecer con empeño, dedicación y paciencia, hasta culminar con éxito la meta propuesta.

Ing. Víctor Monzón

Principal colaborador durante todo este proceso. Quien con su experiencia, dirección, conocimiento y enseñanza me orientó en el correcto desarrollo y culminación de la presente investigación.

**Laboratorio Unificado
de Química y
Microbiología Sanitaria
Dra. Alba Tabarini
Molina**

A su personal por la ayuda y apoyo en el desarrollo del presente proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	4
1.3. Determinación del problema.....	5
1.3.1. Definición	5
1.3.2. Delimitación	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Agua	7
2.1.1. Propiedades.....	7
2.1.2. El agua en la vida	14
2.1.3. Ciclo natural del agua	15
2.1.4. Composición	19
2.1.5. Calidad	26
2.2. Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 001.....	26
2.3. Procedimiento para la recolección de muestras	27
2.3.1. Presentación de los frascos.....	27
2.3.2. Punto de muestreo	27

2.3.3.	Toma de muestra	27
2.3.4.	Conservación y almacenaje	27
2.4.	Características físicas	28
2.4.1.	Color.....	28
2.4.2.	Conductividad eléctrica	28
2.4.3.	Dureza total.....	28
2.4.4.	Hierro.....	29
2.4.5.	Nitratos.....	30
2.4.6.	Potencial de hidrógeno (pH).....	31
2.4.7.	Sólidos totales disueltos	32
2.4.8.	Sulfatos	33
2.4.9.	Temperatura.....	34
2.4.10.	Turbiedad	34
2.5.	Examen bacteriológico del agua	35
2.5.1.	Prueba presuntiva	36
2.5.2.	Prueba confirmativa	36
	2.5.2.1. Prueba confirmativa verde bilis brillante.....	37
2.6.	Enfermedades transmitidas por el agua.....	37
2.7.	Mantenimiento de pozos	37
2.7.1.	Factores que afectan el buen rendimiento de un pozo	38
2.7.2.	Planeación.....	39
2.7.3.	Formas de incrustación	41
2.7.4.	Causas de incrustación	42
2.7.5.	Mantenimiento.....	44
2.7.6.	Tratamiento ácido.....	45

2.7.7.	Características de los pozos de los cuales se capta el agua para el abastecimiento de la Facultad de Ingeniería	47
2.7.7.1.	Breve historia.....	47
3.	METODOLOGÍA.....	49
3.1.	Variables.....	51
3.1.1.	Parámetros fisicoquímicos.....	51
3.1.2.	Parámetros microbiológicos.....	52
3.2.	Delimitación del campo de estudio	53
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	53
3.4.	Recursos materiales disponibles	54
3.4.1.	Equipo	54
3.4.1.1.	Equipo de laboratorio.....	54
3.4.1.2.	Equipo de oficina	54
3.4.2.	Instrumentos de medición.....	54
3.4.3.	Cristalería	55
3.4.4.	Útiles de oficina	55
3.4.5.	Otros.....	55
3.4.6.	Reactivos	56
3.5.	Técnica cuantitativa.....	56
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	56
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	58
3.8.	Análisis estadístico	59
3.8.1.	Determinación del tamaño de la muestra	60
3.8.2.	Determinación de la media aritmética.....	61
3.8.3.	Desviación estándar de la muestra.....	62
3.8.4.	Prueba de hipótesis	62
3.8.5.	Determinación de los grados de libertad	63

3.8.6.	Determinación del estadístico de prueba (t de Student calculada).....	64
3.8.7.	Valor crítico (t de Student tabulada)	64
4.	RESULTADOS.....	67
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	77
5.1.	Pozo mecánico 1 (ingeniería) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3; pozo mecánico 3 (servicio USAC) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6; pozo mecánico 4(agronomía) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8; pozo mecánico 5(servicio USAC) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-5	77
5.2.	Pozo mecánico 2 (ingeniería) y filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7.....	85
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97
	APÉNDICES.....	101
	ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Distribución de carga en la molécula de agua.....	9
2.	Ciclo global del agua. Los valores de los reservorios (que se muestran en azul) son 10^6 km ³ . Los valores de los flujos (que se muestran en rojo) se miden en km ³	16
3.	Red de distribución de la Facultad de Ingeniería (sin escala)	48

TABLAS

I.	Principales constituyentes del agua de mar	20
II.	Composición media de la atmósfera	21
III.	Composición de lluvia y nieve (en mg/L).....	22
IV.	Análisis típicos de aguas superficiales y subterráneas en los Estados Unidos de América	24
V.	Clasificación del agua de acuerdo al rango de dureza contenida	29
VI.	Volúmenes necesarios para los parámetros físicos evaluados	50
VII.	Volúmenes para los parámetros químicos evaluados	50
VIII.	Parámetros físicos evaluados	52
IX.	Parámetros químicos evaluados	52
X.	Parámetros microbiológicos	53
XI.	Ficha de recolección	57
XII.	Hoja de control	58
XIII.	LMA y LMP según la Norma COGUANOR NTG 29 001	59

XIV.	Resultado del pozo mecánico 1 (ingeniería) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3	67
XV.	Resultado del pozo mecánico 2 (ingeniería) y filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7	68
XVI.	Resultado del pozo mecánico 3 (servicio USAC) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6	69
XVII.	Resultado del pozo mecánico 4 (agronomía) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8	70
XVIII.	Resultado del pozo mecánico 5 (servicio USAC) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2	71
XIX.	Prueba de hipótesis para el pozo mecánico 1 (ingeniería)	72
XX.	Prueba de hipótesis para el pozo mecánico 2 (ingeniería)	73
XXI.	Prueba de hipótesis para el pozo mecánico 3 (servicio USAC)	74
XXII.	Prueba de hipótesis para el pozo mecánico 4 (agronomía)	75
XXIII.	Prueba de hipótesis para el pozo mecánico 5 (servicio USAC)	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm³	Centímetros cúbicos
°C	Grados Celsius
μS/cm	Microsiemens por centímetro
mg/L	Miligramos por litro
mm	Milímetros
%	Porcentaje

GLOSARIO

Ademe	Es una tubería, generalmente de acero, colocada con holgura dentro de la perforación. Proporciona una conexión directa entre la superficie y el acuífero y sella el pozo de las aguas indeseables superficiales o poco profundas. Además, soporta las paredes del agujero de perforación.
Agua	Nombre que se aplica al estado líquido del compuesto de hidrógeno y oxígeno H ₂ O.
Agua potable	Es aquella que por sus características bacteriológicas, físicas, químicas y organolépticas no representa un riesgo para la salud del consumidor.
Coliformes fecales	Bacterias que se encuentran en el intestino de los mamíferos de sangre caliente y suelo. Su presencia en agua es un indicador de contaminación fecal.
Coliformes totales	Grupo de bacterias que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas.

Límite máximo aceptable Concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual es percibida por los consumidores, pero sin que implique un daño a la salud.

Límite máximo permisible Concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual no es apta para consumo humano.

M. Muestra.

Monitoreo de la calidad del agua Medir y registrar los parámetros físicos y químicos que sirven para determinar la calidad del agua.

NMP Número más probable.

NMP/100cm³ Es el número más probable de microorganismos coliformes que se pueden encontrar en una muestra de 100 centímetros cúbicos de agua.

Parámetros fisicoquímicos Características relativas al comportamiento físico y químico del agua.

pH Potencial de hidrógeno.

UTN/NTU Unidades de turbiedad nefelométricas.

RESUMEN

El agua es un recurso esencial requerido por los seres humanos para satisfacer sus necesidades básicas. La misma es apta para el consumo humano si cumple con los requisitos de inocuidad, por lo que será potable cuando sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas no afecten la salud del consumidor. El presente estudio se basa en la evaluación diagnóstica de la calidad del agua extraída de los pozos mecánicos ubicados dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, esto con el objetivo de determinar si el agua suministrada por los mismos es apta para el consumo humano.

Se procedió, por lo tanto, a recolectar y evaluar seis muestras por cada uno de los pozos, además de una muestra comparativa de cinco filtros, conectados cada uno al sistema de suministro de su respectivo pozo. Con un programa de análisis mínimo y una toma de muestra puntual, cada siete días, para determinar sus características fisicoquímicas y bacteriológicas, según criterios estandarizados por la Comisión Guatemalteca de Normas en su Norma Técnica Guatemalteca 29 001.

Posteriormente las muestras fueron llevadas al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, donde se procedió a realizar los ensayos con base en los métodos indicados por el *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23st edition*.

Los parámetros físicos y químicos para el pozo mecánico 1 (ingeniería), pozo mecánico 2 de ingeniería (excepto el color), pozo mecánico 3 (servicio USAC), pozo mecánico 4 (agronomía), pozo mecánico 5 (servicio USAC) y los cinco filtros en estudio, son significativamente bajos en comparación con los límites máximos permisibles descritos en la norma COGUANOR NTG 29 001.

Además, los análisis bacteriológicos revelan que no existe presencia de coliformes totales, coliformes fecales y/o E. Coli en el pozo mecánico 1, pozo mecánico 3, pozo mecánico 4, pozo mecánico 5 y los cinco filtros. Con ello se determinó que el agua presente en estos puntos es completamente apta para el consumo humano y no requiere de un tratamiento previo, dado que el contenido de analitos presentes no incumple con ninguno de los límites máximos permisibles establecidos por la norma COGUANOR NTG 29 001.

Para el agua del pozo mecánico 2 (ingeniería) se ha determinado la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y E. Coli en cada una de las muestras analizadas. Las mismas se encuentran propensas a ser contaminadas debido a la falta de operación, mantenimiento y por el deterioro de la estructura del pozo y líneas de distribución, lo que, además, provoca presencia de hierro y altas unidades de color (en la escala de platino-cobalto) que sobrepasan significativamente la media en comparación con los demás puntos en estudio.

La sola presencia de estos microorganismos es un indicador de contaminación, puesto que existe la alta probabilidad de encontrar también un microorganismo patógeno para la salud del ser humano. Por lo que se incumple totalmente con lo indicado por la norma COGUANOR NTG 29 001. Y las autoridades de la Facultad de Ingeniería del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala deben realizar un análisis económico para determinar la viabilidad que tiene la recuperación de dicho pozo mecánico.

OBJETIVOS

General

Evaluar la calidad del agua obtenida de los cinco pozos mecánicos ubicados dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala a partir de sus características fisicoquímicas y microbiológicas, conforme a la norma COGUANOR NTG 29 001, y realizar una propuesta de acondicionamiento.

Específicos

1. Determinar y graficar la ubicación de los cinco pozos mecánicos del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Realizar los análisis fisicoquímicos de color, conductividad, dureza total, hierro total, nitrato, potencial de hidrógeno, sólidos totales disueltos, sulfatos, temperatura y turbiedad a las muestras tomadas de los pozos en estudio, a partir de los métodos referenciados en el *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23st edition*, y con el apoyo de las normas COGUANOR NTG 29 001.

3. Realizar los análisis microbiológicos para la determinación del grupo coliforme total, coliforme fecal y E. Coli a las muestras tomadas de los pozos en estudio, a partir de los métodos referenciados en el *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23st edition*, y con el apoyo de las normas COGUANOR NTG 29 001.
4. Realizar los análisis fisicoquímicos de color, conductividad, dureza total, hierro total, nitrato, potencial de hidrógeno, sólidos totales disueltos, sulfatos, temperatura y turbiedad a las muestras tomadas de los filtros en estudio, a partir de los métodos referenciados en el *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23st edition*, y con el apoyo de las normas COGUANOR NTG 29 001.
5. Realizar los análisis microbiológicos para la determinación del grupo coliforme total, coliforme fecal y E. Coli a las muestras tomadas de los filtros en estudio, a partir de los métodos referenciados en el *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23st edition*, y con el apoyo de las normas COGUANOR NTG 29 001.
6. Proponer una metodología de acondicionamiento del agua suministrada en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, si la calidad de la misma no es apta para consumo humano.

HIPÓTESIS

El agua del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala es potable y puede ser ingerida con seguridad.

- Hipótesis nula 1:

El agua obtenida de los cinco pozos mecánicos del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala cumple con los estándares establecidos en las Normas COGUANOR NTG 29 001 y el Acuerdo Gubernativo 523-2013.

- Hipótesis alternativa 1:

El agua obtenida de los cinco pozos mecánicos del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala no cumple con los estándares establecidos en las Normas COGUANOR NTG 29 001 y el Acuerdo Gubernativo 523-2013.

- Hipótesis nula 2:

Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano de los pozos mecánicos 1, 2, 3, 4 y 5 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala no difieren significativamente de los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NTG 29 001.

- Hipótesis alternativa 2:

Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano de los pozos mecánicos 1, 2, 3, 4 y 5 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala difieren significativamente de los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NTG 29 001.

INTRODUCCIÓN

El agua tiene la capacidad de satisfacer las necesidades humanas básicas y esenciales, por lo que la calidad de la misma no debe ser afectada por la presencia de microorganismos, sustancias químicas y desechos biológicos, entre otros, puesto que estos agentes contaminantes perjudican el equilibrio en el cuerpo humano provocando que la salud se vea afectada.

El recurso hídrico tiende a la contaminación con el aumento de la población, uso excesivo de agroquímicos, desechos industriales, falta de tratamiento de aguas negras, erosión del suelo, entre otros. Por lo que la Norma Técnica Guatemalteca, del Comité Guatemalteco de Normalización COGUANOR NTG 29 001, establece los parámetros para determinar la calidad del agua. Las características físicas, químicas y microbiológicas de muestras de agua son comparadas con estándares de calidad del agua.

El campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala posee una población de 101 691 inscritos y 15 714 trabajadores dentro de sus instalaciones para el año 2018. Por lo tanto, es de suma importancia implementar un programa de salud preventivo a los suministros de agua de esta institución educativa.

El presente estudio consiste en muestrear y analizar la calidad del agua de los pozos mecánicos ubicados dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala, campus central, los cuales abastecen el sistema de suministro de agua potable dentro de la institución, con el objetivo de determinar si la misma sigue siendo apta para consumo humano. Con ello se evita la proliferación de enfermedades gastrointestinales.

Los respectivos análisis se realizaron dentro del Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, ubicado en el segundo nivel del edificio T-5, del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12. Se emplea la metodología para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos descrita por el *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23st edition*.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

Uno de los aspectos de mayor importancia en una institución de educación superior como la Universidad de San Carlos, campus central, es la implementación de un programa preventivo en el manejo de suministros de agua, por lo que existen algunos estudios que tratan el tema de la calidad del agua distribuida dentro de los edificios de la ciudad universitaria y otros lugares específicos:

En el año 2016, el estudiante de Ingeniería Química, de la Universidad de San Carlos, Juan Pablo Martínez Castañeda, para su trabajo de tesis desarrolló un estudio con el título de: *Diagnóstico y propuesta de línea de tratamiento del agua suministrada a los edificios de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12*, en el cual analiza los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, además de proponer una línea de tratamiento de las aguas que abastecen los edificios de la Facultad de Ingeniería.

Entre los resultados obtenidos se indica que los parámetros físicos y químicos se encuentran debajo del límite máximo permisible, según se establece en la Norma COGUANOR NTG 29 001; mientras que en el examen bacteriológico se detectó la presencia de coliformes totales y fecales en los puntos de recolección, por lo que no es apta para consumo humano según esta misma norma.

En el año 2015, los investigadores del Departamento de Citohistología, Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, de la Universidad de San Carlos de Guatemala: Arriaza, Waight, Contreras, Ruano, López, y Ortiz, desarrollaron un artículo científico con el título de *Determinación bacteriológica de la calidad del agua para consumo humano obtenida de los filtros ubicados dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala*.

En ese trabajo se determina la cantidad de coliformes totales y fecales por el método del número más probable (NMP) así como se evidencia la presencia de Escherichia Coli (E. Coli) según criterios establecidos por la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 001 para el agua suministrada por los filtros de ozono y capas ubicados dentro de la universidad.

Se concluyó que los filtros ubicados en las Facultades de Ciencias Químicas y Farmacia, Ciencias Económicas, Odontología y la Escuela de Trabajo Social superan las normas establecidas por COGUANOR para el agua potable, respecto al número de coliformes totales. Además, el agua obtenida de los filtros de las Facultades de Ciencias Económicas y Ciencias Químicas y Farmacia obtuvo un resultado positivo para la presencia de E. Coli, lo que concluye que el agua extraída de estos filtros no es apta para el consumo humano.

En el año 2001 el estudiante de Ingeniería Civil Amilcar Ramiro Hidalgo Mendoza, para su trabajo de graduación desarrolló un estudio con el título de *Evaluación del sistema de agua potable de los edificios T-1 y T-3 de la Facultad de Ingeniería y propuesta de soluciones*.

Con el objetivo de conocer las diferentes pérdidas que se dan en la red de distribución y determinar sus consecuencias técnicas y económicas, para posteriormente plantear una solución. Se concluyó que las fugas de agua del sistema de distribución no se atribuyen sólo a los desperfectos en los servicios sino a la conexión realizada al ampliar el edificio T-5.

Desde el punto de vista físico, químico y sanitario, los análisis de agua se encontraron dentro de los límites máximos aceptables de normalidad y bacteriológicamente el agua se consideró potable, con base en la norma COGUANOR NTG 29 001. Sin embargo, el mal mantenimiento del tanque de distribución, ubicado dentro del sótano del edificio T-3, atenta contra la calidad del agua distribuida.

En el año 2000, la estudiante de Ingeniería Química María Montserrat Suasnívar Gavilán, para su trabajo de graduación desarrolló un estudio con el título de *Determinación de la calidad del agua de los laboratorios de la Universidad de San Carlos de Guatemala y sus posibles tratamientos*, donde determina si la calidad del agua cumple con las especificaciones para su uso en laboratorios. Se llegó a la conclusión de que ningún laboratorio presentaba un agua que cumpliera con los estándares requeridos.

Se toma como ayuda las investigaciones realizadas con anterioridad para proceder a realizar el diagnóstico de la calidad del agua obtenida de los cinco pozos, ubicados en el campus central de la Universidad de San Carlos, mediante la determinación de sus características fisicoquímicas y microbiológicas, confrontando los resultados con la Norma COGUANOR NTG 29 001.

1.2. Justificación

El presente estudio proporciona la información suficiente para determinar si la calidad del agua suministrada en la Universidad de San Carlos, campus central, es apta para consumo humano y de acuerdo a los resultados implementar un programa de salud preventivo en el manejo del suministro de agua.

Según el departamento de Registro y Estadística de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el área del campus central tiene una tasa de población de 101 691 estudiantes inscritos, en el 2018, además de 15 714 trabajadores, según el Departamento de Tesorería, que laboran dentro de dicha institución.

Estas personas no pueden prescindir del servicio de agua potable. Por lo que, tomando como base las dotaciones recomendadas por EMPAGUA, al habitante universitario se le da la clasificación de estudiante externo al cual hay que dotársele de 40 L/día¹. En consecuencia, la demanda de agua ascendería hasta un total de 1 174 050 L/día o 428 813m³/año. Esto incentiva a determinar si el servicio prestado es adecuado para la salud de la comunidad universitaria.

Es importante el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua, ya que los microorganismos y compuestos químicos presentes en la misma pueden llegar a ser tóxicos o patógenos para el ser humano. Por lo que el objetivo de este estudio se hace necesario para determinar si el servicio prestado con los pozos mecánicos a la población de la Universidad de San Carlos de Guatemala, campus central, cumple con los estándares establecidos por la norma COGUANOR NTG 29 001.

¹ HIDALGO, Amilcar. *Evaluación del sistema de agua potable de los edificios T-1 y T-3 de la Facultad de Ingeniería y propuesta de soluciones*. p. 33.

Los análisis se realizaron de acuerdo a los métodos establecidos en el *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23rd edition*.

1.3. Determinación del problema

La Universidad de San Carlos de Guatemala, como una institución de educación superior, debe planificar e implementar un programa de salud preventivo en el manejo del suministro de agua potable, dado que las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de las fuentes evaluadas deben ser sanitariamente aptas para ser objeto de los procesos y métodos de tratamiento y desinfección propuestos para el proyecto de abastecimiento.

Todo lo anterior es necesario para que se pueda satisfacer las normas y especificaciones de potabilidad vigentes, además, no debe mostrar variaciones significativas a través del tiempo, y no debe existir evidencia de exposición a fuentes de contaminación. Por lo que se debe llevar a cabo un estudio sobre las propiedades de estas fuentes de abastecimiento con el objetivo de avalar la viabilidad del consumo de agua suministrada dentro de dicha institución, según el Acuerdo Ministerial 113-2009 y 523-2013.

1.3.1. Definición

El agua es el compuesto químico más abundante de nuestro planeta, resultando indispensable para el desarrollo de la vida, esto debido a que es el componente principal de los organismos, en cuyas células se desarrollan importantes funciones.

Entre sus principales características podemos mencionar que es un excelente disolvente, agente químico reactivo, permite la difusión, es un excelente termorregulador y mantiene la estructura en muchos organismos como las plantas.

Los tratamientos de agua comprenden una serie de procesos físicos y químicos destinados a prepararla para usos determinados. El agua destinada al consumo humano debe esterilizarse. El proceso más ampliamente utilizado consiste en la cloración, en concentraciones que varían entre 0,5 a 1,0 mg/L.

La calidad de la misma debe garantizarse puesto que puede dañar de forma considerable la salud del ser humano. Sin embargo, debido al incremento de la población, contaminación industrial, uso de agroquímicos, falta de tratamiento de aguas negras y la deforestación, la calidad del agua de Guatemala tiende a deteriorarse. Por lo que el Comité Guatemalteco de Normalización establece en su norma técnica COGUANOR NTG 29 001 las características que debe tener el agua utilizada para consumo humano sin que esta llegue a afectar la salud del consumidor.

1.3.2. Delimitación

Se realizó el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua suministrada por los cinco pozos mecánicos, ubicados dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala, campus central, con el fin de determinar si la calidad de la misma es apta para ser consumida por la población de la ciudad universitaria, zona 12, de acuerdo a las Normas COGUANOR NTG 29 001 y el Acuerdo Gubernativo 523-2013. Esto proporciona la información suficiente para efectuar las medidas correctivas que las autoridades correspondientes consideren necesarias.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Agua

La palabra agua se utiliza como sinónimo de la solución/suspensión acuosa diluida de compuestos orgánicos e inorgánicos que constituyen los diversos tipos de sistemas acuáticos. Es un líquido incoloro, casi inodoro e insípido, esencial para la vida y el más empleado de los disolventes².

El agua cubre 72 % de la superficie terrestre y es esencial para la vida. El 65 % en masa de nuestro cuerpo es agua. Debido a la extensa formación de enlaces hidrógeno, el agua tiene puntos de ebullición y fusión inusualmente altos y una capacidad calorífica elevada. El carácter altamente polar del agua es responsable de su capacidad excepcional para disolver una gran variedad de sustancias iónicas y polares covalentes. Muchas reacciones ocurren en agua, incluyendo aquellas en las cuales el H₂O es un reactivo. Por ejemplo, el H₂O puede participar en una reacción ácido-base como donador o receptor de protón. Todas estas propiedades desempeñan un papel importante en nuestro ambiente³.

2.1.1. Propiedades

Las propiedades importantes del agua que la convierten en un elemento tan abundante del ambiente son:

² JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 13.

³ BROWN, Theodore; LeMAY, Eugene; BURSTEN, Bruce; MURPHY, Catherine; WOODWARD, Patrick. *Química, la ciencia central*. p. 764.

Punto de fusión de 0 °C (32 °F), punto de ebullición 100 °C (212 °F), gravedad específica (4 °C) de 1 000 y peso por galón (15 °C) 8 337 libras. La mayoría de las moléculas de agua tienen un peso molecular de 18.

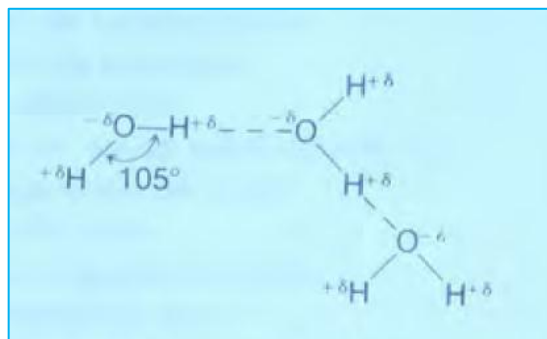
Sin embargo, puesto que el hidrógeno y el oxígeno tienen cada uno 3 isotopos, hay 18 pesos moleculares posibles del agua. En la molécula del agua ambos átomos de hidrógeno están ubicados del mismo lado del átomo de oxígeno y sus enlaces con el átomo de oxígeno se encuentran separados a 105°. Los átomos de hidrógeno tienen una carga positiva mientras que el átomo de oxígeno tiene una carga negativa.

Debido a esta distribución de carga, el H₂O es una molécula fuertemente bipolar. Los dipolos de la molécula de agua se atraen entre sí y forman agregados a través de enlaces que se conoce como puentes de hidrógeno. Se piensa que estos agregados de agua a temperatura ambiente pueden alcanzar tamaños que llegan a 100 moléculas de H₂O.

Los enlaces de hidrógeno en agua son responsables de muchas de las propiedades poco usuales que presenta esta sustancia. El agua es el dihidruro de oxígeno. Si se le compara con los dihidruros de los elementos en la misma familia de la tabla periódica que el oxígeno, como el sulfuro de hidrógeno, H₂S; el seleniuro de hidrógeno, H₂Se; y el telurio de hidrógeno, H₂Te, se encuentra que muchas de las propiedades físicas son anómalas⁴.

⁴ JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 13-14.

Figura 1. **Distribución de carga en la molécula de agua**



Fuente: JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 14.

A presión atmosférica y temperatura ambiente (25 °C) las moléculas más pesadas: H₂S (peso molecular 34), H₂Se (peso molecular 81) y H₂Te (peso molecular 130), son todas gases. El agua es un líquido que solo se transforma en gas cuando la temperatura aumenta a 100 °C o más. Es mucho más densa que las especies relacionadas con ella a cualquier temperatura dada. Su densidad máxima se presenta a 4 °C. Su tensión superficial y constante dieléctrica son mucho más altas de lo que se podría predecir a partir de las propiedades de los otros dihidruros. Su punto de congelación es inferior de lo que podría esperarse y se congela formando hielo, una sustancia de estructura abierta que es menos densa que el agua líquida a partir de la cual se forma.

Todas estas propiedades (y muchas más) se deben a los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de H₂O. La última propiedad -que el H₂O forma un sólido menos denso que el líquido a partir del cual proviene- tiene efectos de gran trascendencia. Si el H₂O sólido fuese más denso que el H₂O líquido, el hielo se formaría en el fondo de los depósitos naturales de agua y no en su superficie.

Los lagos se congelarían del fondo hacia arriba y como consecuencia la vida en su forma actual en los sistemas acuáticos no existiría porque los depósitos naturales de agua se congelarían siempre que la temperatura disminuyese por debajo del punto de congelación del agua⁵.

El agua tiene muchas propiedades únicas relacionadas con sus puentes de hidrógeno. Una de las propiedades es el alto calor específico, es decir, la cantidad de calorías necesarias para aumentar en 1 grado Celsius la temperatura de 1 gramo de agua. El calor específico del agua posee el valor de 1, y al resto de las sustancias se les asigna un valor comparándolas con el agua. El agua puede almacenar grandes cantidades de energía calórica con un pequeño aumento de la temperatura.

Por ello deben absorberse grandes cantidades de calor para que la temperatura de las aguas naturales como las lagunas, los lagos o los mares, aumenten tan sólo 1 °C. Estas se calientan lentamente durante la primavera y se enfrían con la misma lentitud en otoño. Este comportamiento evita las amplias variaciones estacionales de temperatura en los hábitats acuáticos, tan comunes en las temperaturas del aire, y modera la temperatura del ambiente a nivel local y global. El calor específico del agua es importante también para la regulación térmica de los organismos.

Debido a que del 75 al 95 % del peso de todas las células vivas es agua, la variación de la temperatura también se modera según los cambios de la temperatura ambiente.

⁵ JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 13.

Por el alto calor específico del agua, se necesitan grandes cantidades de energía calórica para cambiar el estado entre las fases sólidas (hielo), líquidas, y gaseosas (vapor de agua)⁶.

En conjunto, la energía liberada o absorbida en la transformación del agua de un estado a otro se denomina calor latente. Para reducir la temperatura de un gramo de agua de 2 °C a 1 °C, solo es necesario restar 1 caloría de energía calórica (4,184 julios), pero es necesario restar 80 veces más de energía calórica (80 calorías por gramo) para convertir la misma cantidad de agua a 1 °C en hielo (punto de congelación de 0 °C). Asimismo, son necesarias 536 calorías para invertir la atracción entre moléculas y convertir 1 g de agua a 100 °C en vapor, la misma cantidad de calor que se necesita para aumentar la temperatura de 536 g de agua 1 °C.

Gracias a los puentes de hidrógeno, las moléculas de agua tienden a sujetarse firmemente entre ellas y a resistir fuerzas externas que romperían estos puentes. Esta propiedad se denomina cohesión. Dentro de una masa de agua, estas fuerzas de atracción son iguales en todos los puntos. Sin embargo, en la superficie del agua existe un conjunto diferente de condiciones. Bajo la superficie, las moléculas de agua están fuertemente atraídas entre sí. Por encima se da la atracción mucho más débil entre las moléculas de agua y las moléculas de aire. Por lo tanto, las moléculas de la superficie son atraídas hacia abajo y la superficie se vuelve tensa como la de un globo inflado.

Este estado, denominado tensión superficial, es importante en las vidas de los organismos acuáticos.

⁶ SMITH, Tomas; SMITH, Robert. *Ecología*. p. 72.

Por ejemplo, la superficie del agua es capaz de soportar pequeños objetos y animales, como los zapateros (*Gerridae*) y las arañas de agua (*Dolomedes spp.*) que se encuentran en la superficie de las lagunas⁷.

La cohesión también es responsable de la viscosidad del agua. La viscosidad es la propiedad del material que mide la fuerza necesaria para separar las moléculas y permitir el paso de un objeto a través del líquido. La viscosidad es la fuente de resistencia de fricción para objetos que se desplazan en el agua. Esta resistencia de fricción del agua es 100 veces mayor que la del aire.

La forma corporal hidrodinámica de muchos organismos acuáticos, por ejemplo, la mayoría de los peces y mamíferos marinos, ayuda a reducir esta resistencia de fricción. Reemplazar el agua en el espacio que queda detrás de los animales al desplazarse supone un freno adicional para el cuerpo. Un animal con forma hidrodinámica invertida, con un frente corto y redondeado y un cuerpo marcadamente ahusado, ofrece la mínima resistencia en el agua. El ejemplo perfecto de tal hidrodinamia es el cachalote (*Physeter catodon*).

La alta viscosidad del agua, en comparación con la del aire, se debe en gran parte a su mayor densidad. La densidad del agua es aproximadamente 860 veces mayor que la del aire (el agua pura tiene una densidad de 1 000 kg/m³). A pesar de que la viscosidad del agua supone una restricción para la movilidad de los organismos acuáticos, también es beneficiosa. Si un cuerpo se sumerge en el agua y su peso es menor que el del agua en la que se desplaza, estará sujeto a una fuerza ascendente llamada flotabilidad.

⁷ SMITH, Tomas; SMITH, Robert. *Ecología*. p. 72-73.

Debido a que la mayoría de los organismos acuáticos (plantas y animales) poseen una flotabilidad casi neutra (su densidad es similar a la del agua), no necesitan invertir en material estructural, como esqueleto o celulosa, para poder mantenerse erguidos frente a la fuerza de la gravedad.

De manera similar, en lo que se refiere al movimiento, los animales terrestres deben levantar su masa corporal contra la fuerza de gravedad a cada paso que dan. Esos movimientos requieren significativamente más energía que aquellos que necesitan los organismos acuáticos para los movimientos de nado. Sin embargo, la gran densidad del agua puede tener efectos significativos en el metabolismo de los organismos marinos que habitan las aguas más profundas del océano.

Por su mayor densidad, el agua también experimenta mayores cambios de presión según la profundidad en comparación con los que presenta el aire. A nivel del mar, el peso de la columna vertical de aire desde lo alto de la atmósfera hasta la superficie marina es de 1 kg/cm^2 , o 1 atmósfera (atm). En contraste, bajo el agua la presión aumenta 1 atm por cada 10 m de profundidad. Debido a que el fondo del océano presenta variaciones que oscilan entre los 100 metros y los 10 000 m en las fosas submarinas, el rango de la presión en el fondo del océano oscila entre 20 y más de 1 000 atm.

Investigaciones recientes demuestran que tanto las proteínas como las membranas biológicas se ven enormemente afectadas por la presión y deben modificarse para funcionar en los animales que viven en el fondo del océano⁸.

La polaridad del agua es un factor importante para determinar sus propiedades disolventes.

⁸ SMITH, Tomas; SMITH, Robert. *Ecología*. p. 73.

Los minerales que forman la corteza terrestre son en su mayoría sólidos inorgánicos en donde los iones de cargas positivas y negativas existen en una estructura reticular unidos entre sí por enlaces electrostáticos.

El agua, con su carácter bipolar, tiene el poder de rodear a un ion de carga positiva con la parte negativa de su molécula (o a la inversa, rodear el ion cristalino de carga negativa con la parte de carga positiva en la molécula), aislando por tanto a este ion de los que le rodean y neutralizando las fuerzas de atracción que mantienen la integridad de la estructura cristalina. El ion, rodeado (o hidratado) con moléculas de agua puede dejar el retículo cristalino y desplazarse hacia la solución - se transforma en un ion disuelto.

El agua disuelve cierta cantidad (pequeña o grande) de casi todos los sólidos o gases con los que se pone en contacto. En el ciclo global del agua sobre la Tierra (el ciclo hidrológico), el agua establece contacto con los gases en la atmósfera (incluyendo contaminantes del aire y emanaciones volcánicas) y los minerales que hay en los primeros kilómetros de la corteza terrestre. En menor escala, el agua circula en sistemas construidos por el hombre (conductos y tuberías hechas de minerales sintéticos como el concreto y de metales refinados como el hierro y el cobre). En estos sistemas el agua actúa como disolvente y da lugar a fenómenos generales como la corrosión y las incrustaciones⁹.

2.1.2. El agua en la vida

El agua es la sustancia esencial de la vida, el componente dominante de todos los organismos vivos.

⁹ JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 15.

Entre un 75 y un 95 % del peso de las células vivas es agua, y no existe casi ningún proceso fisiológico en el cual el agua no sea de vital importancia. Al cubrir alrededor de un 75 por ciento de la superficie del planeta, el agua es además el ambiente dominante de la Tierra.

Una de las características más importantes que influyen en la adaptación de los organismos que habitan en ambientes acuáticos es la salinidad del agua. Por ello, los ecosistemas acuáticos se dividen en dos grandes categorías: aguas saladas (o marinas) y aguas dulces.

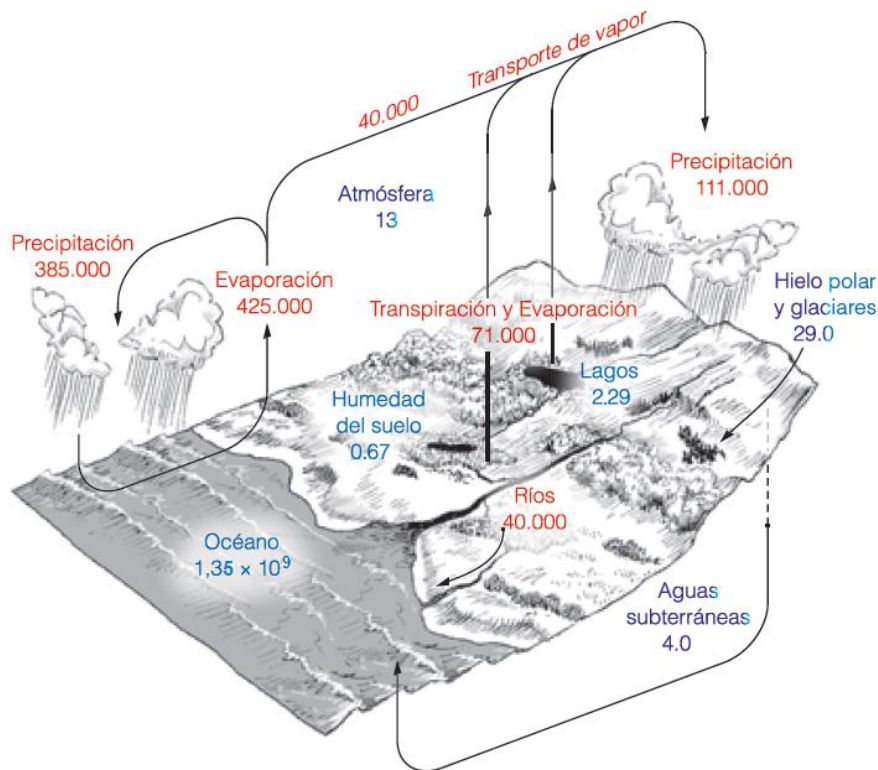
2.1.3. Ciclo natural del agua

Todos los ambientes acuáticos de aguas marinas y de aguas dulces están relacionados, directa o indirectamente, como componentes del ciclo del agua (también denominado ciclo hidrológico), el proceso a través del cual el agua viaja en una secuencia desde el aire a la Tierra y regresa a la atmósfera.

La radiación solar, que calienta la atmósfera de la Tierra y suministra energía para la evaporación del agua, es la fuerza motriz del ciclo del agua. La precipitación da comienzo al ciclo del agua. El vapor de agua, que circula en la atmósfera, finalmente cae en alguna forma de precipitación. Una parte del agua cae directamente sobre el suelo y sobre las masas de agua. Otra parte es interceptada por la vegetación, por la materia orgánica muerta del suelo y por las estructuras urbanas y las calles. Debido a la interceptación, que puede ser considerable, una cierta cantidad de agua nunca se infiltra en el suelo, sino que se evapora de inmediato, pasando nuevamente a la atmósfera. La precipitación que llega al suelo pasa a la tierra mediante infiltración¹⁰.

¹⁰ SMITH, Tomas; SMITH, Robert. *Ecología*. p. 68.

Figura 2. **Ciclo global del agua. Los valores de los reservorios (que se muestran en azul) son 10^6 km^3 . Los valores de los flujos (que se muestran en rojo) se miden en km^3**



Fuente: SMITH, Tomas; SMITH, Robert. *Química del agua*. p. 71.

La tasa de infiltración depende del tipo de suelo, la inclinación, la vegetación y la intensidad de la precipitación. Con lluvias fuertes, cuando se satura el suelo, fluye un exceso de agua sobre la superficie en forma de escorrentía o flujo superficial. En algunos lugares, se concentra en depresiones y surcos, y la corriente pasa de flujo laminar a flujo canalizado, proceso que se puede observar en las calles de una ciudad cuando el agua pasa por las aceras hasta las alcantarillas¹¹.

¹¹ SMITH, Tomas; SMITH, Robert. *Ecología*. p. 68-69.

Debido a una baja infiltración, la escorrentía de las zonas urbanas puede ser de hasta un 85 por ciento de la precipitación. Parte del agua que penetra en el suelo se filtra hacia abajo hasta una capa impermeable de arcilla o roca, para acumularse como agua subterránea. Desde allí, el agua encuentra su camino hacia manantiales y arroyos. Los arroyos se van juntando y dan ríos que siguen la topografía del paisaje. En las cuencas y tierras de aluvión, se forman lagos y humedales. Los ríos finalmente fluyen hacia la costa y realizan la transición de aguas dulces a aguas marinas.

El agua que permanece en la superficie, en las capas superiores del suelo, la que es recogida en la superficie de la vegetación, además del agua de las capas superficiales de los arroyos, lagos y océanos, regresa a la atmósfera por evaporación. El índice de evaporación dependerá de la cantidad de vapor de agua que hay en el aire como consecuencia de la presión de vapor a saturación.

Las plantas causan una pérdida adicional de agua del suelo. A través de sus raíces, toman el agua del suelo y la pierden a través de sus hojas y otros órganos mediante un proceso llamado transpiración. La transpiración es la evaporación de agua desde las superficies internas de hojas, tallos y otras partes vivas. La cantidad total del agua evaporada de las superficies del suelo y de la vegetación se denomina evapotranspiración¹².

El océano mundial es enorme, pues tiene un volumen de $1,35 \times 10^9$ km³ y contiene el 97,2 % de toda el agua de la Tierra, Del 2,8 restante, 2,1 % está en la forma de casquetes de hielo y glaciares.

¹² SMITH, Tomas; SMITH, Robert. *Ecología*. p. 69.

Toda el agua dulce, en lagos, ríos y aguas subterráneas, representa solo el 0,6 %. La mayor parte del 0,1 % restante se encuentra en aguas salobres (saladas), como la del Gran Lago Salado de Utah¹³.

El tercer reservorio activo en tamaño es el agua subterránea (0,3 %). Sobre los océanos, la evaporación excede a la precipitación por unos 40 000 km³. Una proporción significativa del agua evaporada de los océanos es transportada por los vientos a la superficie de la Tierra en forma de vapor de agua, donde se deposita en forma de precipitación. De los 111 000 km³ del agua que cae como precipitación en la superficie de la Tierra, solo alrededor de 71 000 km³ vuelven a la atmósfera por evapotranspiración. A los restantes 40 000 km³ se los lleva el río como escorrentía y finalmente son devueltos a los océanos. Esta cantidad equilibra la pérdida neta de agua de los océanos a la atmósfera mediante la evaporación.

El tamaño relativamente pequeño del reservorio atmosférico (sólo 13 km³) no refleja su importancia en el ciclo global del agua. Obsérvense los grandes flujos entre la atmósfera y el océano y la superficie terrestre en relación con la cantidad de agua que se encuentra en la atmósfera en un momento concreto (tamaño del reservorio).

La importancia de la atmósfera en el ciclo global del agua se ve mejor reflejada por el tiempo de renovación del reservorio. El tiempo de renovación se calcula al dividir el tamaño del reservorio por la tasa de salida (flujo que sale)¹⁴.

¹³ BROWN, Theodore; LeMAY, Eugene; BURSTEN, Bruce; MURPHY, Catherine; WOODWARD, Patrick. *Química, la ciencia central*. p. 765.

¹⁴ SMITH, Tomas; SMITH, Robert. *Ecología*. p. 69-71.

Por ejemplo, el tiempo de renovación del océano es el tamaño del reservorio ($1,37 \times 10^6 \text{ km}^3$) dividido por la tasa de evaporación ($425\,000 \text{ km}^3$ por año), o más de 3 000 años. En cambio, el tiempo de renovación del reservorio atmosférico es de aproximadamente 0,024 años. Es decir que el contenido total del agua de la atmósfera se reemplaza de media cada 9 días¹⁵.

2.1.4. Composición

Con frecuencia el agua de mar se conoce como agua salina. La salinidad del agua de mar es la masa en gramos de las sales secas presentes en 1 kg de agua de mar. En el océano mundial los promedios de salinidad son cercanos a 35. En otras palabras, el agua de mar contiene alrededor de 3,5 % en masa de sales disueltas¹⁶.

El océano es aproximadamente una solución 1,1 M de aniones y cationes; en la tabla I se da su composición promedio. En esta tabla la categoría otros sólidos incorpora diversas especies que incluyen casi todos los elementos presentes en la corteza terrestre.

En esta categoría las concentraciones promedio varían de moderadas [Sr(8 mg/L), SiO₂(6,4mg/L), B(4,6 mg/L) y F(1,3 mg/L)] hasta pequeñas [N(0,5 mg/L), Li(0,17 mg/L), P(0,07 mg/L) e I(0,06 mg/L)] hasta infinitesimales [Cd(0,0001 mg/L), Cr(0,00005 mg/L) y Hg(0,00003 mg/L)] hasta minúsculas [Pa(2×10^{-9} mg/L) y Ra(1×10^{-10} mg/L)].

¹⁵ SMITH, Tomas; SMITH, Robert. *Ecología*. p. 71.

¹⁶ BROWN, Theodore; LeMAY, Eugene; BURSTEN, Bruce; MURPHY, Catherine; WOODWARD, Patrick. *Química, la ciencia central*. p. 765.

El contenido de sales disueltas en el agua de mar (los sólidos totales disueltos son aproximadamente 34 500 mg/L) es suficiente para elevar su densidad a 20 °C hasta un valor de 1,0243 g/mL, que es significativamente mayor que el agua pura¹⁷.

Tabla I. Principales constituyentes del agua de mar

Constituyente	mg/Kg (ppm)
Sodio (Na ⁺)	10 500
Magnesio (Mg ⁺)	1 350
Calcio (Ca ²⁺)	400
Potasio (K ⁺)	380
Cloruro (Cl ⁻)	19 000
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	2 700
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	142
Bromuro (Br ⁻)	65
Otros sólidos	34
Sólidos disueltos totales	34 500
Agua (balance)	965 517

Fuente: JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 16.

De los océanos, el agua se evapora y es transportada sobre las masas territoriales, donde se puede depositar por una u otra forma de precipitación (lluvia, nieve, granizo, entre otros). Durante su paso del océano a la superficie terrestre el agua atraviesa la parte inferior de la atmósfera. Debido a esto, tiene la posibilidad de equilibrarse con los gases en la atmósfera. La composición promedio de la atmósfera inferior aparece en la tabla II.

¹⁷ JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 15.

La composición promedio de la atmósfera terrestre está sujeta a variaciones considerables, especialmente en los niveles de ciertos constituyentes menores como son CO₂, CO, SO₂, NO_x, entre otros, que son productos de los procesos de combustión y están asociados con la contaminación atmosférica que hay en las comunidades urbanas-industriales¹⁸.

Tabla II. **Composición media de la atmósfera**

Gas	Porcentaje en volumen	Presión parcial (atm)
N ₂	78,1	0,781
O ₂	20,9	0,209
Ar	0,93	0,0093
H ₂ O	0,1-2,8	0,028
CO ₂	0,03	0,0003
Ne	1,8×10 ⁻³	1,8×10 ⁻⁵
He	5,2×10 ⁻⁴	5,2×10 ⁻⁶
CH ₄	1,5×10 ⁻⁴	1,5×10 ⁻⁶
Kr	1,1×10 ⁻⁴	1,1×10 ⁻⁶
CO	(0,06-1) ×10 ⁻⁴	(0,6-1) ×10 ⁻⁶
SO ₂	1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁶
N ₂ O	5×10 ⁻⁵	5×10 ⁻⁷
H ₂	5×10 ⁻⁵	5×10 ⁻⁷
O ₃	(0,1-1) ×10 ⁻⁵	(0,1-1,0) ×10 ⁻⁷
Xe	8,7×10 ⁻⁶	8,7×10 ⁻⁸
NO ₂	(0,05-2) ×10 ⁻⁵	(0,05-2) ×10 ⁻⁸
Rn	6×10 ⁻¹⁸	6×10 ⁻²⁰

Fuente: JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 17.

Los principales constituyentes atmosféricos, N₂ y O₂, son ambos ligeramente solubles en agua (17,5 y 39,3 mg/Kg, respectivamente, a 25 °C) pero algunos de los constituyentes menores, por ejemplo, CO₂ y SO₂, son muy solubles (1 450 y 94 100 mg/Kg, respectivamente, a 25 °C). La composición de la precipitación es muy variable y los contaminantes atmosféricos influyen considerablemente sobre ella.

¹⁸ JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 16.

La precipitación cerca de los océanos contiene más SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ y Mg^{2+} que la precipitación que cae en el interior de una gran extensión de tierra. La lluvia y la nieve generados en una atmósfera con altas concentraciones de SO_2 producido por combustión puede ser muy ácida. Sin embargo, en las cifras en la tabla III se muestra que el agua de lluvia es sin duda una solución muy diluida de sales disueltas, esto indica la notable eficiencia del proceso de destilación en la producción de agua potable con agua de mar.

El pH de la precipitación no contaminada (5,5 a 6,5) es menor que el del agua de mar de la cual se generó. Este es un reflejo del equilibrio que se ha logrado con el CO_2 atmosférico. El agua de lluvia no contiene amortiguadores o reguladores, así que no puede mantener su pH neutro en presencia de cantidades tan pequeñas de gases que producen ácidos¹⁹.

Tabla III. **Composición de lluvia y nieve (en mg/L)**

Constituyente	Nieve (Cima Spooner, Nevada, U.S. a 2 164 m)	Lluvia (Carolina del Norte y Virginia)	Lluvia (Menlo Park, California)		Lluvia (Estación 526U, Bélgica)
			enero 9, 1958	enero 10, 1958	
SiO_2	0,0		1,2	0,3	
Al (III)	0,01				
Ca^{2+}	0,0	0,65	1,2	0,8	3,3
Mg^{2+}	0,2	0,14	0,7	1,2	0,36
Na^+	0,6	0,56	0,0	9,4	0,97
K^+	0,6	0,11	0,0	0,0	0,23
NH_4^+	0,0				0,42
HCO_3^-	3		7	4	0,0
SO_4^{2-}	1,6	2,18	0,7	7,6	6,1
Cl^-	0,2	0,57	0,8	17	2,0
NO_2^-	0,02		0,0	0,02	
NO_3^-	0,1	0,62	0,2	0,0	2,2
STD	4,8		8,2	38	
pH	5,6		6,4	5,5	4,4

Fuente: JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 18.

¹⁹ JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 16-17.

Durante la precipitación pluvial, el agua cae sobre la superficie de la tierra y establece contacto con rocas, sedimentos y el suelo, así como con los habitantes tanto animales como vegetales de la superficie terrestre. Se llevan a cabo reacciones químicas que modifican aún más la composición del agua. Estas reacciones se pueden considerar en términos generales como una titulación ácido-base, global y gigantesca en donde los ácidos del agua de lluvia (CO_2 , SO_2 y NO_x) neutralizan las bases de las rocas.

Como la composición de la superficie y el grado de actividad biológica, así como su naturaleza (incluyendo la actividad del hombre) varían de un lugar a otro, se puede esperar que de estas reacciones se produzcan aguas de muy diversas composiciones. El tiempo y el grado de contacto entre el agua y las rocas también influyen sobre la composición de la solución²⁰.

Agua dulce es el término empleado para referirse a las aguas naturales que tienen bajas concentraciones (menos de 500 ppm) de sales disueltas y sólidos. Incluye las aguas de lagos, ríos, estanques y arroyos. Aproximadamente 20 % del agua dulce mundial está bajo el suelo, en forma de agua subterránea. El agua subterránea reside en acuíferos, los cuales son capas de roca porosa que la retienen. El agua de los acuíferos puede ser muy pura y accesible para el consumo humano si está cerca de la superficie. La roca densa, que impide que el agua penetre fácilmente, retiene el agua subterránea durante años o milenios²¹.

Las aguas superficiales que se originan en cuencas donde las rocas principales son graníticas contienen muy pequeñas cantidades de materiales disueltos, no más de aproximadamente 30 mg/L.

²⁰ JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 17.

²¹ BROWN, Theodore; LeMAY, Eugene; BURSTEN, Bruce; MURPHY, Catherine; WOODWARD, Patrick. *Química, la ciencia central*. p. 766-767.

Estas son un grupo importante de agua. Corresponden al tipo A en la tabla IV. El segundo tipo general de aguas superficiales (tipo B, tabla IV) tiene su origen en cuencas distintas a las graníticas antes descritas. Esta agua tiene valores intermedios de dureza (calcio y magnesio), alcalinidad (HCO_3^-) y contenido mineral total.

Las aguas subterráneas en general tienen concentraciones de material disuelto superiores a los de las superficiales. Esto se debe al contacto estrecho entre el agua cargada de CO_2 y las rocas y tierra en el suelo, así como al tiempo de disolución. Además, puede agregarse CO_2 al agua en el suelo por la actividad de microorganismos. El ejemplo C en la tabla IV es un agua subterránea de pozos situados a 10 y 20 m. Por lo general requiere ablandamiento para darle uso doméstico y la mayoría de los usos industriales²².

Tabla IV. **Análisis típicos de aguas superficiales y subterráneas en los Estados Unidos de América**

Constituyente	A	B	C
SiO_2	9,5	1,2	10
Fe (III)	0,07	0,02	0,09
Ca^{2+}	4,0	36	92
Mg^{2+}	1,1	8,1	34
Na^+	2,6	6,5	8,2
K^+	0,6	1,2	1,4
HCO_3^-	18,3	119	339
SO_4^{2-}	1,6	22	84
Cl^-	2,0	13	9,6
NO_3^-	0,41	0,1	13
Sólidos totales disueltos	34	165	434
Dureza total como CaCO_3	14,6	123	369

Fuente: JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 19.

²² JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 17-19.

Se utilizan aproximadamente 9×10^{11} L de agua dulce cada día en Estados Unidos. La mayor parte se emplea para la agricultura (41 %) y la energía hidroeléctrica (39 %), con pequeñas cantidades para industria (6 %), las necesidades domésticas (6 %) y agua potable (1 %). Un adulto necesita beber alrededor de 2 L de agua al día.

En Estados Unidos, el uso diario de agua por persona excede por mucho este nivel de subsistencia, llegando a un promedio de unos 300 L/día para el consumo y la higiene personal. Se utilizan alrededor de 8 L/persona para cocinar y beber, cerca de 120 L/persona para limpieza (baño, lavandería y limpieza de hogar), 80 L/persona para el desagüe de baños y 80 L/persona para regar los jardines²³.

En resumen, las reacciones químicas de la atmósfera y los sólidos en las rocas de la superficie de la tierra forman soluciones minerales diluidas a las cuales se llama aguas superficiales y aguas subterráneas. Estas aguas y los minerales degradados que se obtienen de su flujo al océano constituyen una reacción inversa a la que se produce durante el envejecimiento de las mismas. Las actividades del hombre y las de los organismos que se desarrollan dentro y alrededor de las aguas naturales modifican tanto la composición inorgánica como la orgánica de todas estas soluciones²⁴.

²³ BROWN, Theodore; LeMAY, Eugene; BURSTEN, Bruce; MURPHY, Catherine; WOODWARD, Patrick. *Química, la ciencia central*. p. 766-767.

²⁴ JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. p. 26.

2.1.5. Calidad

El agua de consumo inocua (agua potable) no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda la vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida²⁵.

2.2. Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 001

La Norma COGUANOR NTG 29 001, sobre agua para consumo humano (agua potable), establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano. Se aplica a toda agua para consumo humano, destinada para alimentación y uso doméstico, que provenga de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otros. El agua podrá estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos. Se excluyen las aguas purificadas envasadas y aguas carbonatadas, las cuales son cubiertas por normas específicas²⁶.

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala, por medio del Acuerdo Ministerial No. 523-2013, decretó el *Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano*. En el capítulo I, Disposiciones Generales, artículo 3, se indica que, para efectos de la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano, se establece como norma de referencia la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 001-Agua para consumo humano (agua potable), especificaciones.

²⁵ Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable*. p. 11.

²⁶ Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 29 001*. p. 4.

2.3. Procedimiento para la recolección de muestras

Es el siguiente:

2.3.1. Presentación de los frascos

Los frascos deben estar identificados y contener los siguientes datos: lugar de recolección de la muestra, fecha y hora de recolección, olor, concentración de cloro residual y cualquier observación que contribuya a esclarecer las condiciones de la muestra.

2.3.2. Punto de muestreo

Una vez seleccionado el lugar de recolección, se procede a abrir completamente el grifo y dejar correr el agua por al menos un minuto; si la apariencia del agua lo requiere, se puede extender el tiempo, pero no más de 5 minutos. Luego se procede a recolectar la muestra.

2.3.3. Toma de muestra

Se recolecta en un envase de plástico, este se lava dos o tres veces con el agua seleccionada para la muestra y finalmente se llena y tapa.

2.3.4. Conservación y almacenaje

Una vez recolectadas, las muestras se almacenan en una hielera para su traslado al laboratorio²⁷.

²⁷ MARTÍNEZ, Juan. *Diagnóstico y propuesta de línea de tratamiento del agua suministrada a los edificios de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad universitaria zona 12.* p. 6.

2.4. Características físicas

Son aquellas características relativas a su comportamiento físico, que determinan su calidad, según la norma COGUANOR NTG 29 001, 2010.

2.4.1. Color

El color en el agua es generalmente dado por hojas, semillas o sustancias orgánicas. El color verdadero del agua se debe a la presencia de material en solución, pero este logra cambiar a un color aparente por el efecto de partículas que están en suspensión.

2.4.2. Conductividad eléctrica

Es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la presencia de iones. Proviene de una base, un ácido o una sal, disociadas en iones. La conductividad y la dureza son dos parámetros cuyos valores están relacionados y reflejan el grado de mineralización (sales disueltas) de las aguas²⁸.

2.4.3. Dureza total

Es una característica del agua que representa la concentración total de calcio y magnesio expresada como carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3).

²⁸ MARTÍNEZ, Juan. *Diagnóstico y propuesta de línea de tratamiento del agua suministrada a los edificios de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad universitaria zona 12.* p. 8.

La dureza puede ser dureza de carbonatos o de no carbonatos, la primera se refiere a carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, y la segunda a sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio. Usualmente es expresada en partes por millón (ppm) o mg/L de carbonato de calcio.

La dureza total se mide determinando la cantidad de carbonato de calcio equivalente al total de calcio y magnesio contenida en el agua, y algunas veces por el hierro y aluminio contenido²⁹.

Tabla V. **Clasificación del agua de acuerdo al rango de dureza contenida**

Rango (mg/L)	Clasificación
0-75	Blanda
76-150	Moderadamente dura
151-300	Dura
>300	Muy dura

Fuente: SOLÓRZANO, Rita. *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*. p. 9.

2.4.4. Hierro

La presencia de hierro es un problema de calidad del agua muy común, especialmente en aguas de pozos profundos. El agua que contiene cantidades pequeñas de hierro puede parecer clara cuando es extraída, pero podrá rápidamente tornarse roja después de su exposición al aire.

²⁹ SOLÓRZANO, Rita. *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*. p. 8.

Este proceso es denominado oxidación, y envuelve la conversión de hierro disuelto (ferroso), que es altamente soluble, en hierro precipitado (férrico), que es muy insoluble. Principalmente se encuentra disuelto en forma de bicarbonato ferroso, $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$.

La concentración de hierro es medida en ppm o mg/L. La coloración en general se transforma en problema cuando la concentración es mayor que 0,3 ppm. La remoción puede ser hecha por medio de intercambio iónico (ablandador) o por oxidación/filtración. No se sabe de algún efecto que perjudique a la salud por tomar agua que contenga hierro³⁰.

Está naturalmente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0,5 a 50 mg/L. En concentraciones mayores que 0,3 mg/L causa manchas en la ropa o utensilios de porcelana, produce sabores metálicos y en general le da un aspecto desagradable e inapropiado para ciertos usos³¹.

2.4.5. Nitratos

Son sales químicas derivadas del nitrógeno que, en concentraciones bajas, se encuentran de forma natural en el agua y en el suelo. La presencia de nitratos en las aguas de abastecimiento público es debida a la contaminación de las aguas naturales por compuestos nitrogenados. Sanitariamente los nitratos solos son peligrosos para ciertos niños menores de un año.

³⁰ RAMOS, Francisco. *Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del Puerto de San José, departamento de Escuintla*. p. 15.

³¹ MONROY, Elia. *Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en el agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de San Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la Norma COGUANOR NGO 29001:99*. p. 12.

La ingestión del agua con nitratos en concentración superior a 45 mg/L puede producir metahemoglobinemia infantil, o la enfermedad de los bebés azules³².

2.4.6. Potencial de hidrógeno (pH)

La evaluación del pH se emplea para caracterizar un agua, dar seguimiento a un proceso (neutralización, biológico, anaerobio, corrosión), o bien, para controlar las condiciones de operación (precipitación, floculación, sistemas biológico anaerobios desinfección) ya que la velocidad de las reacciones depende de él. El pH del agua natural varía entre 5 y 9.

En sistemas de abastecimiento, uno de los principales propósitos de la regulación del pH es reducir al mínimo la corrosión o la incrustación, que es una consecuencia de las relaciones entre el pH, CO₂, la dureza, la alcalinidad y temperatura. Se evita tener un valor de pH menor a 7 para este efecto. Otro factor es que el valor de pH mayor a 8 interfiere en la desinfección con cloro. El pH aceptable para agua potable varía entre 6,5 a 8,5 como valor guía³³.

En el proceso de potabilización y distribución del agua, se producen una serie de reacciones químicas entre los agentes de desinfección y la materia orgánica presentes en el agua a tratar.

³² MARTÍNEZ, Juan. *Diagnóstico y propuesta de línea de tratamiento del agua suministrada a los edificios de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad universitaria zona 12.* p. 11.

³³ MONROY, Elia. *Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en el agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de San Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la Norma COGUANOR NGO 29001:99.* p. 13-14.

La naturaleza y concentración de los compuestos formados son dependientes de variables tales como el tipo y concentración del desinfectante utilizado, la cantidad de materia orgánica presente en el agua natural, la temperatura, la fuerza iónica, el tiempo de contacto con el agente desinfectante, y el pH, siendo este último una variable crítica.

Entre la familia de subproductos de cloración que se forman se destacan los trihalometanos (THM), cuyo valor de concentración en el agua tratada se encuentra regulado debido a sus efectos adversos a la salud. El incremento de pH favorece la formación de trihalometanos.

2.4.7. Sólidos totales disueltos

Comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y cantidades menores de materia orgánica; todo ello disuelto en el agua. Los sólidos totales disueltos o STD pueden proceder de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales. Concentraciones superiores a 1 200 mg/l pueden resultar desagradables para los consumidores. El agua con concentraciones muy bajas de STD también puede ser inaceptable debido a su falta de sabor³⁴.

³⁴ MONROY, Elia. *Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en el agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de San Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la Norma COGUANOR NGO 29001:99*. p. 14.

2.4.8. Sulfatos

Se puede encontrar presente en el agua natural en un amplio rango de concentraciones y en muchos minerales, utilizados comercialmente en la industria química³⁵. Los sulfatos se liberan al agua procedente de residuos industriales y mediante precipitación desde la atmósfera; no obstante, las concentraciones más altas suelen encontrarse en aguas subterráneas y provienen de fuentes naturales³⁶. Las aguas provenientes de minas o efluentes industriales contienen altas concentraciones de sulfato, debido a la oxidación de la pirita y el uso del ácido sulfúrico. Tiene efectos corrosivos en los materiales que regularmente se utilizan en la fabricación de tuberías y piezas de equipo³⁷.

La presencia de sulfato en el agua de consumo puede generar un sabor apreciable y en niveles muy altos provocar un efecto laxante en consumidores no habituados. El deterioro del sabor varía en función de la naturaleza del catión asociado; se han determinado umbrales gustativos que van de 250 mg/l, para el sulfato de sodio, a 1 000 mg/l, para el sulfato de calcio. Por lo general, se considera que el deterioro del sabor es mínimo cuando la concentración es menor que 250 mg/l. No se ha calculado ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el sulfato³⁸.

³⁵ SOLÓRZANO, Rita. *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.* p. 11.

³⁶ MONROY, Elia. *Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en el agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de San Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la Norma COGUANOR NGO 29001:99.* p. 13.

³⁷ SOLÓRZANO, Rita. *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.* p. 11.

³⁸ Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable.* p. 188.

2.4.9. Temperatura

La temperatura influye en el crecimiento biológico, reacciones químicas y la solubilidad de los contaminantes. No tiene efectos directos en la salud, sin embargo, una temperatura mayor a 40 °C genera la proliferación de microorganismos y por ende acrecienta los problemas de sabor, olor, color y corrosión del agua.

La temperatura afecta directamente al consumidor, pero no es de importancia sanitaria. Se considera que una temperatura arriba de 10 °C es satisfactoria pero más de 16 °C no es aceptable para consumo humano³⁹.

2.4.10. Turbiedad

La turbiedad o turbidez en el agua de consumo está causada por la presencia de partículas de materia, que pueden proceder del agua de origen, como consecuencia de un filtrado inadecuado, o debido a la resuspensión de sedimentos en el sistema de distribución. También puede deberse a la presencia de partículas de materia inorgánica en algunas aguas subterráneas o al desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución. El aspecto del agua con una turbidez menor que 5 NTU suele ser aceptable para los consumidores, aunque esto puede variar en función de las circunstancias locales.

Las partículas pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y pueden estimular la proliferación de bacterias.

³⁹ MARTÍNEZ, Juan. *Diagnóstico y propuesta de línea de tratamiento del agua suministrada a los edificios de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad universitaria zona 12.* p. 12-13.

Siempre que se someta al agua a un tratamiento de desinfección, su turbidez debe ser baja, para que el tratamiento sea eficaz. Además, la turbidez también es un parámetro operativo importante en el control de los procesos de tratamiento, y puede indicar la existencia de problemas, sobre todo en la coagulación, sedimentación y en la filtración.

No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la turbidez; idóneamente, sin embargo, la turbidez mediana debe ser menor que 0,1 NTU para que la desinfección sea eficaz, y los cambios en la turbidez son un parámetro importante de control de los procesos⁴⁰.

2.5. Examen bacteriológico del agua

La indagación de microorganismos patógenos como *Salmonella* y *Shigella* se dificulta porque normalmente estos aparecen en escasa cantidad ya que es un medio desfavorable para su crecimiento. La falta de técnicas sencillas y rápidas, llevan a que su sondeo no sea eficaz, especialmente cuando se hallan en número reducido.

A raíz de estos inconvenientes se ha buscado un procedimiento más seguro para instituir la salubridad de las aguas, que se basa en la detección de bacterias coliformes y *Escherichia Coli* como indicadores de contaminación fecal.

⁴⁰ Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable*. p. 189.

2.5.1. Prueba presuntiva

Consiste en sembrar alícuotas apropiadas de la muestra de agua en tubos, con un medio de cultivo de caldo lactosado y observar si se produce gas después de un tiempo de incubación de 24 a 28 horas a 35 °C. La ausencia de gas después de 48 horas es indicativo de que no hay presencia de bacterias coliformes en las muestras analizadas, constituyendo un resultado negativo. La presencia de gas en los tubos de caldo lactosado indica un resultado positivo, pero no necesariamente confirma la presencia de coliformes, ya que está la posibilidad de que la formación de gas se deba a otro tipo de microorganismo no patógeno, y por eso es necesario que se lleve a cabo la prueba confirmativa⁴¹.

2.5.2. Prueba confirmativa

Consiste en transferir una alícuota de cada uno de los tubos que den un resultado positivo en la prueba presuntiva, en un medio de cultivo apropiado, que dependerá del grupo coliforme a indagar. Las restricciones en las cuales se llevan a cabo estos análisis son las mismas que las del grupo coliforme anteriormente descrito.

Al igual que la prueba presuntiva, la ausencia de gas después del periodo de incubación constituye una prueba negativa y la presencia de gas una prueba positiva, lo que confirma la presencia del grupo coliforme que se haya investigado.

⁴¹ MARTÍNEZ, Juan. *Diagnóstico y propuesta de línea de tratamiento del agua suministrada a los edificios de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad universitaria zona 12.* p. 14-15.

2.5.2.1. Prueba confirmativa verde bilis brillante

En el medio de cultivo, la peptona aporta los nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo bacteriano, la bilis y el verde brillante son los agentes selectivos que inhiben el desarrollo de bacterias Gram positivas y Gram negativas a excepción de coliformes, y la lactosa es el hidrato de carbono fermentable. Es una propiedad del grupo coliforme, la fermentación de la lactosa con producción de ácido y gas.

2.6. Enfermedades transmitidas por el agua

Los microorganismos patógenos que llegan a los depósitos de agua proceden de las descargas intestinales de hombres y animales. Además, ciertas especies de bacterias, particularmente *Escherichia Coli*, y varios microorganismos similares, denominados coliformes, estreptococos fecales (como *Streptococcus faecalis* y *Clostridium perfringens*), son habitantes normales del intestino grueso del hombre y animales y en consecuencia siempre están en las materias fecales. Así pues, la presencia de cualquiera de estas especies en el agua es evidencia de contaminación fecal y el camino está abierto a los patógenos ya que se encuentran en las materias fecales⁴²

2.7. Mantenimiento de pozos

Los pozos, como todas las estructuras de ingeniería, necesitan conservación o mantenimiento regular, rutinario, para obtener un alto nivel continuo de funcionamiento y una máxima vida útil.

⁴² MARTÍNEZ, Juan. *Diagnóstico y propuesta de línea de tratamiento del agua suministrada a los edificios de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad universitaria zona 12.* p. 15-16.

La tendencia general hacia el mantenimiento de los pozos es la que puede describirse mejor con la expresión “lo que no se ve, se olvida”. Consecuentemente, se presta muy poca o ninguna atención a los pozos después de su terminación, hasta que los problemas alcanzan niveles de crisis, acarreado a menudo la inutilización del mismo. La importancia de un mantenimiento rutinario para la prevención, descubrimiento y corrección oportuna de los problemas que reducen el funcionamiento de la vida útil del pozo no puede exagerarse. Un programa de mantenimiento sistemático puede pagar buenos dividendos y, ciertamente, resultará en beneficios a largo plazo que exceden su costo.

2.7.1. Factores que afectan el buen rendimiento de un pozo

Los factores que afectan la conservación del funcionamiento o rendimiento del pozo son numerosos. Debe tenerse cuidado para diferenciar los factores relativos al desgaste normal de las partes de la bomba y los que dependen directamente de las condiciones cambiantes del pozo y sus alrededores. Por ejemplo, un pozo que funciona perfectamente puede tener un rendimiento bajo a causa de una reducción en la capacidad de la bomba por desgaste excesivo de sus piezas.

Por otra parte, el desgaste exagerado de las piezas de la bomba se puede deber al bombeo de arena que entra en el pozo a través de una rejilla corroída. También es posible que la corrosión afecte solamente la bomba, reduciendo su capacidad. Más comúnmente, una disminución en la capacidad de un pozo resulta del taponamiento de las aberturas de la rejilla y de la formación acuífera inmediatamente alrededor de la rejilla del pozo por depósitos de incrustación.

Estos depósitos de incrustación pueden ser de la forma dura, parecida a cemento, típicos de los carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio, las formas blandas de aspecto de lodo de los hidróxidos de hierro y magnesio, o lama gelatinosa de la bacteria del hierro. El hierro también puede depositarse en forma de óxido férrico, con apariencia parda rojiza, como una incrustación. Menos común es el depósito de materiales del suelo, tales como cieno y arcilla.

2.7.2. Planeación

La planeación de los procedimientos de mantenimiento de un pozo debe apoyarse en el sistema de llevar buenos registros. Entre los datos conservados deben incluirse los regímenes de bombeo, la aspiración, las horas totales de operación, el consumo de energía y los análisis de calidad del agua. Los regímenes de bombeo y la aspiración son particularmente útiles en la determinación de la capacidad específica (descarga por pie de aspiración), que es el mejor indicador de los problemas existentes en un pozo.

Los registros de consumo de energía también proporcionan indicios valiosos de la existencia de problemas en pozos. Si un aumento en el consumo de energía no va acompañado por un aumento correspondiente en la cantidad de agua bombeada, entonces es posible que exista un problema en la bomba o en el pozo. Si una investigación no revela los problemas en la bomba ni aumento apreciable de la presión dinámica contra la cual tiene que operar esta, entonces es más probable que exista un problema en el pozo y que esté causando una aspiración creciente. Entonces debe efectuarse una comprobación de la aspiración para verificar si el problema se da por incrustación.

Por lo general, la bomba recibe atención, porque al menos algunas de sus partes pueden verse sobre el terreno. El pozo, en sí mismo, es ignorado hasta que surge un problema que, cuando ya ha afectado seriamente el abastecimiento de agua, la bomba demanda una inmediata y a veces muy drástica intervención.

Dos obstáculos que se oponen a la conservación periódica de los pozos son de naturaleza no técnica. El primero, que el propietario del pozo sabe que de tiempo en tiempo deben hacerse ciertas cosas para preservar la estructura del pozo en buenas condiciones, aunque esta se encuentre enterrada y fuera de la vista, a cientos de metros por debajo de la superficie del terreno. El segundo problema consiste en llevar un registro del funcionamiento del pozo, puesto que no se puede ver lo que está sucediendo en el fondo de este. Se debe confiar en los registros de los caudales de bombeo, abatimiento, horas de funcionamiento, potencia empleada, análisis de agua y otros datos pertinentes, para establecer lo que pueda estar sucediendo.

Como se expuso anteriormente un registro apropiado es, en la mayoría de los casos, la base más digna de confianza para decidir qué procedimientos de conservación serían los más adecuados a la obtención de los mejores resultados.

El análisis químico del agua debe indicar el tipo de incrustación que podría manifestarse y la velocidad a que esta se depositaría en la vecindad del pozo. Se pueden derivar ciertas conclusiones generales del análisis de agua, pero si solo una muestra ocasional ha sido analizada, los resultados tienen poco valor para efectos de adoptar el tipo de acción que debe tomarse. El análisis químico del agua podría revelar mucho más si las muestras fueran analizadas con regularidad y periodicidad.

La calidad del agua puede cambiar lentamente conforme se utiliza el pozo. Esta calidad puede mejorar o empeorar; todo depende de las condiciones geológicas e hidrológicas del área.

2.7.3. Formas de incrustación

La incrustación se presenta a menudo en la forma de una deposición dura, frágil, de apariencia similar al cemento, parecida a la costra que se forma en los conductos de agua. En condiciones diferentes, puede parecer un material gelatinoso, suave y pastoso como el lodo.

Según Hidalgo, enumeradas en su orden de frecuencia para manifestarse, las diferentes formas de incrustación incluyen las siguientes:

- Incrustación provocada por la precipitación de carbonatos de calcio y de magnesio, o de sulfatos de estos últimos.
- Incrustación debida a la precipitación de compuestos de hierro y de manganeso, principalmente sus hidróxidos y óxidos hidratados.
- Oclusión debida a la gelatina producida por la bacteria ferrosa (*Gallionellales*, *Mariprofundus ferrooxydans*, *Acidithiobacillus ferrooxidans* y *Leptospirillum ferrooxidans*) y otros organismos productores de material similar.
- Obstrucción resultante de la deposición de materiales tales como limo y arcilla, llevados en suspensión hasta la rejilla.

2.7.4. Causas de incrustación

Las causas de incrustación de las rejillas de pozo se deben por lo general a la precipitación de carbonatos, principalmente de calcio, contenidos en el agua subterránea que se encuentra en la proximidad de la rejilla. Algunas otras sustancias, tales como los silicatos de aluminio y compuestos de hierro, pueden también incorporarse a la costra de carbonatos que aglutina los granos de arena alrededor de la rejilla. Esta deposición llena los vacíos, y el flujo de agua hacia el pozo se reduce proporcionalmente.

La explicación más plausible de este fenómeno es la siguiente: el carbonato de calcio puede ser arrastrado en suspensión en el agua subterránea, en una proporción que depende del contenido de dióxido de carbono disuelto en esta. La capacidad del agua para retener el dióxido de carbono en solución varía de acuerdo con la presión, de forma que cuanto mayor la presión, más dióxido de carbono será retenido.

Cuando se bombea agua de un pozo, la superficie freática se abate para provocar el gradiente necesario o diferencia de presión dentro de la formación acuífera, e inducir así el flujo de agua hacia el pozo. Por lo tanto, la presión hidrostática en las regiones más profundas del acuífero disminuye, haciéndolo en mayor magnitud en el punto del pozo mismo. Debido a esta reducción de presión, se libera una mayor o menor cantidad de dióxido de carbono. Cuando sucede esto, el agua pierde a menudo su aptitud para retener en solución su carga completa de carbonato de calcio, y una parte de este material gelatinoso se precipita a la arena adyacente a la rejilla del pozo.

La precipitación de los compuestos de hierro y de manganeso puede también ser causada por la liberación de dióxido de carbono del agua subterránea.

Es posible que también algunas otras alteraciones del régimen del flujo subterráneo, debidas a la puesta en funcionamiento de un pozo en un sitio particular, pudieran contribuir a la incrustación. En aquellos lugares donde prevalece la incrustación de los pozos, es necesario analizar muestras de los materiales incrustantes. Estas muestras pueden a menudo obtenerse de las superficies exteriores de bombas, tuberías de aspiración, o rejillas que se hayan usado en pozos situados en la vecindad del sitio en que se está estudiando la situación.

Los constituyentes incluirán, por lo general, carbonatos de calcio, óxido de hierro, sílice, silicato de aluminio y materia orgánica. El material causante de la obstrucción no será nunca una sola sustancia, sino que, por el contrario, se deberá a una mezcla de varias cosas. Las proporciones relativas de las diversas sustancias determinadas en el análisis químico definirán el tipo de tratamiento que podría brindar el mayor éxito en la recuperación del rendimiento del pozo.

El ácido elimina el carbonato de calcio, pero no disuelve el sílice ni el silicato de aluminio. La presencia de óxido de hierro de materia orgánica es una señal de eventuales problemas debidos a la bacteria ferrosa, y demanda el uso de cloro y de algún agente dispersor a base de polifosfato. Si no existe materia orgánica, el tratamiento con cloro será de poco valor.

2.7.5. Mantenimiento

El mantenimiento no debe aplazarse hasta que los problemas asuman proporciones mayores, ya que, entonces, la rehabilitación se hace más difícil y, en algunas ocasiones, imposible o impracticable. La incrustación no tratada con suficiente anticipación puede, de esta manera, tapar la rejilla del pozo y la formación a su alrededor, de tal manera que se hace extremadamente difícil, e incluso imposible, difundir una solución química a todos los puntos afectados en la formación. Cualquier intento de rehabilitación sería, entonces infructuoso.

Aún no se ha desarrollado métodos para la prevención completa de la incrustación en los pozos. Se han dado varios pasos para retardar el proceso y reducir la magnitud de sus efectos. Entre estos se encuentra el diseño adecuado de la rejilla del pozo y la reducción del régimen de bombeo, ambos dirigidos a reducir las velocidades de entrada en las rejillas y el embalse en los pozos. Por ejemplo, puede ser útil repartir la carga de bombeo entre un número más grande de pozos a fin de reducir el porcentaje de incrustación. Sin embargo, la solución última o final será un programa de limpieza regular.

Los pozos con incrustación suelen tratarse con sustancias químicas que disuelven los depósitos o lo aflojan de las superficies de la rejilla del pozo y los materiales de la formación de tal manera que se pueden retirar fácilmente por medio de achicador.

Por lo general, la limpieza de los pozos se atiende con negligencia, hasta que surge un verdadero problema. El resultado de esta manera de proceder es el de que la limpieza que se necesita se pospone hasta que la capacidad ha disminuido considerablemente, o cuando el abatimiento se ha vuelto tan grande, que se rompe la aspiración de la bomba.

Cuando la formación entorno al pozo y la rejilla misma se ha obstruido a tal punto, el trabajo que se debe efectuar para llevar de nuevo pozo a su capacidad adecuada, resulta mayor. Se necesita entonces un tratamiento químico intenso y un desarrollo del pozo. A estas alturas, bien pudiera ser que una extensa zona de la formación alrededor del pozo se hallase parcialmente o totalmente obstruida. Por lo tanto, podría resultar extremadamente difícil, y hasta imposible, difundir la solución química a todos los puntos en que este pudiera disolver, o de otro modo eliminar, los inconvenientes depósitos.

Cuando se está tratando por vía química un pozo, nunca debe suponerse que la solución química puede desplazarse fácilmente hacia los vacíos de la formación acuífera, uniformemente en todas direcciones y por dentro de todo el espesor del estrato productor. Las soluciones químicas fluirán más fácilmente a través de aquellas áreas en que la formación se halla más abierta, o sea, donde la resistencia al fluido es mínima.

La primera aplicación de la solución limpia estas áreas y aumenta su permeabilidad. Como resultado de ello, la segunda dosis de reactivo es más susceptible de fluir a lo largo de las mismas trayectorias, a menos que sea vigorosamente agitada y de alguna manera forzada, a que una parte de ella se desplace hacia zonas no habilitadas por la primera dosis.

2.7.6. Tratamiento ácido

Por lo general, se emplea un ácido clorhídrico (muriático) que contenga un inhibidor apropiado, el cual disuelve fácilmente los carbonatos de calcio y de magnesio. El inhibidor sirve para aminorar la tendencia del ácido a atacar el ademe del pozo, evitando así daños serios a la tubería durante el tratamiento.

La incrustación del tipo de carbonatos se elimina eficazmente introduciendo ácido en el pozo, desplazándolo por aberturas de la rejilla hacia los vacíos de la formación, y luego extrayendo, por bombeo, cualquier materia extraña desprendida. Cualquier buen procedimiento resulta bien, pero deben emplearse técnicas adecuadas para lograr un efecto óptimo.

Los hidróxidos de hierro y de manganeso y sus óxidos son también muy solubles en ácido clorhídrico. Sin embargo, si el pH se halla por arriba de 3, estos precipitan en la solución ácida. Para eliminar estos compuestos deberá mantenerse entonces la concentración debida de ácido, hasta que este se extraiga del pozo por bombeo.

Para ayudar a mantener el hierro en solución, se usan las sales de Rochelle. Aunque las incrustaciones de hierro y de manganeso son solubles en ácido, algunas veces el tratamiento con este no ha dado buenos resultados, cuando esas sustancias son la causa de la obstrucción. Algunas de las fallas se deben posiblemente a una técnica defectuosa de tratamiento, pero pareciera que es preferible el empleo de otro método de tratamiento con ácido en condiciones iguales.

El ácido muriático comercial se encuentra disponible en tres concentraciones en que lo preparan los fabricantes.

Es preferible usar la concentración más alta, la cual se designa como de 27,92 % de ácido puro. El ácido se vende en recipientes, ya sea de vidrio o de material plástico, con un contenido de unos 45 litros. Si no se puede obtener ácido con inhibidor, se puede introducir un inhibidor de manufactura casera, que consiste en usar gelatina Knox.

Se puede evitar cualquier daño serio del ademe provocado por el ácido agregando a 1 000 litros de ácido, unos 6,8 kilogramos de gelatina disuelta en agua tibia.

2.7.7. Características de los pozos de los cuales se capta el agua para el abastecimiento de la Facultad de Ingeniería

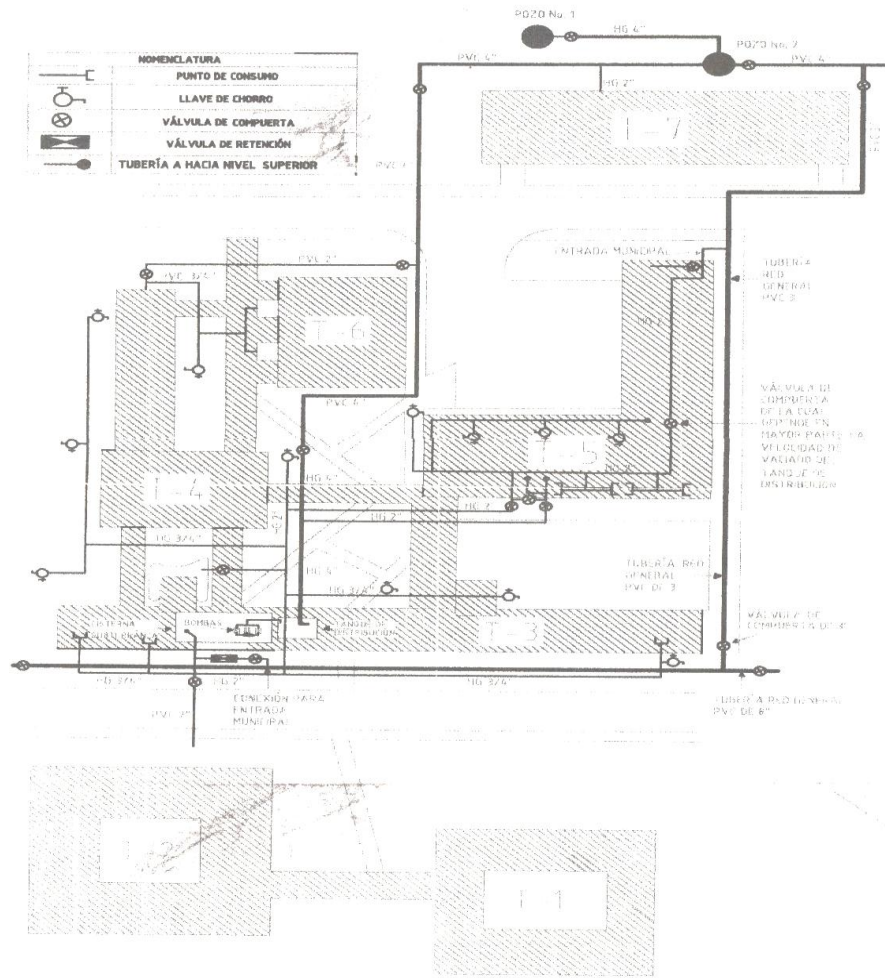
No se sabe con exactitud la fecha de su perforación, como tampoco la fecha en que estos entraron en funcionamiento, debido a que en las fuentes en donde se supone tendría que existir tal información, la misma no se encuentra, pero los datos que para el tema interesan sí fueron recabados.

2.7.7.1. Breve historia

Luego del terremoto que azotó Guatemala en 1976, se presentó el problema de que, en la facultad, el abastecimiento de agua potable se hizo escaso, pero no fue hasta que en 1978 se decidió que los pozos existentes contiguos al edificio T-7 fueran los que abastecieran en forma exclusiva a los edificios que conforman la Facultad de Ingeniería. Además, fue en 1982 en el cual se hizo el último trabajo de mantenimiento a los mencionados pozos⁴³.

⁴³ HIDALGO, Amilcar. *Evaluación del sistema de agua potable de los edificios T-1 y T-3 de la Facultad de Ingeniería y propuesta de soluciones*. p. 41-49.

Figura 3. Red de distribución de la Facultad de Ingeniería (sin escala)



Fuente: HIDALGO, Amilcar. *Evaluación del sistema de agua potable de los edificios T-1 y T-3 de la Facultad de Ingeniería y propuesta de soluciones.* s/p.

3. METODOLOGÍA

La metodología consiste en el muestreo aséptico y el análisis del agua de los pozos mecánicos encargados del suministro de agua potable a los edificios de la ciudad universitaria, zona 12. Se siguió los métodos descritos en el *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 23rd edition*, de la AWWA, WEF, APHA.

Se colectaron un total de 6 muestras de cada pozo para un total de 30 muestras, espaciando la toma de muestras cada siete días, obteniendo un periodo total de 42 días de estudio.

Para el análisis bacteriológico se requiere un volumen total de 100,0 mL, el cual se colecta en un recipiente prefabricado y aforado para dicho volumen con una incerteza de $\pm 0,1$ mL. Y, tal como lo indica la norma COGUANOR NTG 29_001, no debe existir presencia alguna de coliformes totales dentro de dicha muestra para que se considere apta para el consumo humano.

A continuación, se presentan los volúmenes aproximados necesarios para realizar los análisis físicos y químicos en la determinación de la calidad del agua.

Tabla VI. **Volúmenes necesarios para los parámetros físicos evaluados**

No.	Variable	Unidad	Volumen (mL)
1	Color	u	5
2	Conductividad	μS/cm	25
3	Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	25
4	Temperatura	°C	25
5	Sólidos totales disueltos	mg/L	25
6	Turbiedad	Unidades de Turbiedad Nefelométricas (NTU)	25
Total			130

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Volúmenes para los parámetros químicos evaluados**

No.	Variable	Unidad	Volumen (mL)
1	Dureza total	mg/L	50
2	Hierro	mg/L	10
3	Nitratos	mg/L	10
4	Sulfatos	mg/L	25
Total			95

Fuente: elaboración propia.

Debido a los accidentes, errores involuntarios o simplemente las pérdidas por transporte y manipulación de las muestras, que pueden presentarse durante los análisis de las muestras, se considera, como medida de prevención, recolectar un volumen total de 1,0 L, dentro de un recipiente prefabricado y aforado a dicho volumen con una incerteza de $\pm 1,0$ mL, para realizar todos los análisis fisicoquímicos requeridos por la norma COGUANOR NTG 29 001 en la determinación de la calidad del agua para consumo humano.

Posteriormente los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se comparan con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la Norma COGUANOR NTG 29 001, verificando que los mismos se encuentren dentro de los límites establecidos por dicha norma, determinando con ello si el agua es aceptable para el consumo humano.

3.1. Variables

Las variables en estudio se muestran a continuación.

3.1.1. Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos analizados para determinar la calidad del agua suministrada por los pozos, a los edificios de la Universidad de San Carlos de Guatemala, campus central, se encuentran en las siguientes tablas:

Tabla VIII. **Parámetros físicos evaluados**

No.	Variable	Unidad de medida	Cuantitativo	Cualitativo
1	Color	u	X	
2	Conductividad	μS/cm	X	
3	Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	X	
4	Temperatura	°C	X	
5	Sólidos totales disueltos	mg/L	X	
6	Turbiedad	Unidades de Turbiedad Nefelométricas (NTU)	X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Parámetros químicos evaluados**

No.	Variable	Unidad de medida	Cuantitativo	Cualitativo
1	Dureza total	mg/L	X	
2	Hierro	mg/L	X	
3	Nitratos	mg/L	X	
4	Sulfatos	mg/L	X	

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. **Parámetros microbiológicos**

Los parámetros microbiológicos analizados para determinar la calidad del agua suministrada por los pozos mecánicos, a los edificios de la Universidad de San Carlos de Guatemala, campus central, se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla X. **Parámetros microbiológicos**

No.	Variable	Unidad de medida	Cuantitativo	Cualitativo
1	Coliformes totales	NMP	X	
2	Coliformes fecales	NMP	X	
3	E. Coli	NMP	X	

Fuente: elaboración propia.

3.2. **Delimitación del campo de estudio**

El estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala, campus central, zona 12 de la Ciudad de Guatemala. Los puntos a muestrear fueron los siguientes:

- Pozo mecánico 1 (ingeniería)
- Pozo mecánico 2 (ingeniería)
- Pozo mecánico 3 (servicio USAC)
- Pozo mecánico 4 (agronomía)
- Pozo mecánico 5 (servicio USAC)

3.3. **Recursos humanos disponibles**

- Investigador: Orbin Ariel Lima Marroquín
- Asesor: Ing. Químico Víctor Manuel Monzón Valdez
- Personal técnico del laboratorio

3.4. Recursos materiales disponibles

Son los siguientes:

3.4.1. Equipo

Es el siguiente:

3.4.1.1. Equipo de laboratorio

- Gradilla para tubos de ensayo.
- Incubadora.
- Lámpara de rayos ultravioleta (365 nm).
- Lápiz de succión.
- Pinzas para soporte universal.
- Refrigerador.

3.4.1.2. Equipo de oficina

- Calculadora
- Computadora
- Impresora

3.4.2. Instrumentos de medición

- Cronómetro ($\pm 1,0$ s).
- Espectrofotómetro ($\pm 0,1$ nm).
- Medidor de conductividad ($\pm 1,0$ μ S).
- Medidor de sólidos totales disueltos ($\pm 1,0$ mg/L).
- Potenciómetro ($\pm 0,1$).
- Termómetro ($\pm 0,1$ °C).
- Turbidímetro ($\pm 0,001$ NTU).

3.4.3. Cristalería

- Agitadores de vidrio.
- Balones aforados ($\pm 0,25$ mL)
- *Beackers*.
- Botella mezcladora cuadrada.
- Buretas ($\pm 0,5$ mL).
- Caja petri.
- Celdas de vidrio para espectrofotometría.
- Cubetas de vidrio para medición de turbidez.
- *Earlenmeyers*.
- Goteros.
- Pipetas de Mohr de 5 cm^3 y 10 cm^3 de capacidad ($\pm 0,05$ mL).
- Probetas de 25 cm^3 y 50 cm^3 de capacidad ($\pm 0,5$ mL).
- Tubos de ensayo.

3.4.4. Útiles de oficina

- Borrador
- Folders
- Hojas de papel bond
- Lapiceros
- Lápices
- Sacapuntas
- Tinta de impresión

3.4.5. Otros

- Mayordomo.
- Paños de seda.
- Piceta.
- Frascos de plástico esterilizado para muestras.
- Guantes de látex.
- Mascarilla.

3.4.6. Reactivos

- Agua desmineralizada.
- Caldo verde brillante con bilis de buey al 3 %.
- Caldo EC.
- Caldo lactosado.
- EDTA (ácido etilendiaminotetracético).
- FerroVer Iron.
- Indicador de ericromo negro T.
- NitraVer5.
- Soluciones estándar de Pt-Co.
- SulfaVer4.

3.5. Técnica cuantitativa

El estudio tiene este enfoque debido a que se utilizó métodos de recolección de datos cuantificables, a partir de los exámenes bacteriológicos, químicos y físicos del agua potable.

Además, el estudio es transversal porque los datos recolectados hacen referencia únicamente a un intervalo de tiempo determinado, es decir, a la duración del estudio.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se identificaron las muestras con sus respectivas condiciones y sitios de recolección, además de la fecha y la hora.

Tabla XI. **Ficha de recolección**

Ubicación	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 3		Muestreo 4		Muestreo 5		Muestreo 6		Filtros	
	Fecha	Hora	Fecha	Hora	Fecha	Hora	Fecha	Hora	Fecha	Hora	Fecha	Hora	Fecha	Hora
Pozo mecánico 1 (ingeniería)		8:30		8:20		8:15		8:00		8:10		8:30		8:30
Pozo mecánico 2 (ingeniería)		8:40		8:45		8:30		8:15		8:25		8:45		8:40
Pozo mecánico 3 (servicios USAC)	10/10/19	10:40	17/10/19	9:30	24/10/19	10:20	31/10/19	9:00	7/11/19	9:05	14/11/19	9:30	14/11/19	9:20
Pozo mecánico 4 (agronomía)		11:40		14:35		11:30		10:05		9:35		10:25		9:10
Pozo mecánico 5 (servicios USAC)		11:00		9:55		11:00		9:25		9:15		9:55		8:55

Fuente: elaboración propia.

La recolección se realizó cada siete días entre los meses de octubre y noviembre y se registró los resultados del análisis en una hoja de control donde se especificaron los puntos de recolección, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

El proceso de tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información se llevará a cabo registrando los datos obtenidos de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos en la hoja de control mostrada a continuación.

Tabla XII. **Hoja de control**

Fecha de captación												
Parámetro	Unidad	Resultado							LMA	LMP		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Filtro				
PARÁMETROS FÍSICOS												
Color	u										5	35
Conductividad	(μ S/cm)										750	1 500
pH	-----										7,0-7,5	6,5-8,5
STD	mg/L										500	1 000
Temperatura	°C										-----	-----
Turbidez	NTU										5	15
PARÁMETROS QUÍMICOS												
Dureza total	mg/L										100	500
Hierro total	mg/L										0,3	-----
Nitrato	mg/L										-----	50
Sulfato	mg/L										100	250
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS												
Coliformes T.	NMP/ 100cm ³										-----	<2 - <3
E. Coli	NMP/ 100cm ³										-----	<2 - <3
Coliformes F.	NMP/ 100cm ³										-----	<2 - <3

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Para verificar que las concentraciones de los parámetros en estudio presentes en el agua de los pozos del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala cumplan con los límites máximos admisibles (LMA) y límites máximos permisibles (LMP), se utilizará la Norma COGUANOR NTG 29 001. Esto con el objetivo de evaluar si el agua es apta para el consumo humano (agua potable).

Tabla XIII. **LMA y LMP según la Norma COGUANOR NTG 29 001**

Parámetro	Unidades	LMA	LMP
PARÁMETROS FÍSICOS			
Color	u*	5	35
Conductividad	(μ S/cm)	750	1 500
pH	-----	7,0-7,5	6,5-8,5
STD	mg/L	500	1 000
Temperatura	°C	-----	-----
Turbidez	NTU	5	15
PARÁMETROS QUÍMICOS			
Dureza total	mg/L	100	500
Hierro total	mg/L	0,3**	-----
Nitrato	mg/L	-----	50
Sulfato	mg/L	100,00	250,00
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS			
Coliformes T.	NMP/100 cm ³	No deben ser detectables en 100 mL de agua	
Coliformes F.	NMP/100 cm ³	No deben ser detectables en 100 mL de agua	
*Unidades de color en la escala de platino-cobalto			
**La Norma COGUANOR NTG 29 001 no incluye el LMP debido a que la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor, sin embargo, el gusto y la apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.			

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *Norma COGUANOR NTG 29 001*. p. 6-10.

El análisis estadístico se realiza con el objetivo de enunciar las hipótesis estadísticas que permitan evaluar la eficacia de los datos, obtenidos del análisis de las distintas características fisicoquímicas y bacteriológicas, a través de la cuantificación de su variación con respecto a la norma COGUANOR NTG 29 001.

3.8.1. Determinación del tamaño de la muestra

La determinación del número de veces que se debe llevar a cabo los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos necesarios para cada pozo, con el objetivo de determinar la calidad del agua suministrada por los mismos a las instalaciones del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se define como:

[Ecuación 4]

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q}{e^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

$Z_{\alpha/2}^2$ = Área bajo la curva normal

p = Probabilidad de éxito

q = Probabilidad de fracaso

e = Error por estimación

N_c = Nivel de confianza

α = Nivel de significancia ($1-N_c$)

Todas características fisicoquímicas y bacteriológicas se analizaron con una probabilidad de éxito del 95,00 %, un nivel de confianza del 95,00 % y un error por estimación del 18 %.

Sustituyendo estos valores en la ecuación 1 se determina:

$$\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$$

$$1 - \alpha/2 = 0,975$$

$$Z_{\alpha/2} = 1,96$$

$$n = \frac{(1,96)^2 \cdot (0,95) \cdot (0,05)}{(0,18)^2} = 5,63197 \approx 6$$

Por lo tanto, los análisis de cada característica fisicoquímica y bacteriológica se realizan a un total de 6 muestras tomadas de los pozos mecánicos 1, 2, 3, 4 y 5 del campus central de la universidad de San Carlos de Guatemala.

3.8.2. Determinación de la media aritmética

Para comparar los valores de cada característica fisicoquímica y bacteriológica respecto a las normas COGUANOR NTG 29 001, los datos obtenidos a partir del procedimiento analítico deben integrarse en un solo número individual que represente razonablemente el comportamiento de todos los datos.

Para datos no agrupados la media se define como:

[Ecuación 5]

$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n}$$

Donde:

\bar{X} = Media aritmética de la muestra

X_i = Valor del estadístico en estudio de la muestra i

n = Tamaño de la muestra

3.8.3. Desviación estándar de la muestra

Para poder evaluar la variación entre los datos obtenidos de cada uno de los análisis, para cada característica fisicoquímica y bacteriológica, se determinó la desviación estándar para la muestra.

Para datos no agrupados la desviación estándar para la muestra se define como:

[Ecuación 6]

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

\bar{S} = Desviación estándar de la muestra

\bar{X} = Media aritmética de la muestra

X_i = Valor del parámetro en estudio de la muestra i

n = Tamaño de la muestra

3.8.4. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis se realiza con el objetivo de evaluar si la media de los datos obtenidos para cada una de las muestras, del agua obtenida de los pozos mecánicos 1, 2, 3, 4 y 5 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, difiere significativamente de los parámetros establecidos en las normas COGUANOR NTG 29 001.

- Hipótesis nula:

Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano de los pozos mecánicos 1, 2, 3, 4 y 5 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala no difieren significativamente de los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NTG 29 001.

$$t = \mu$$

- Hipótesis alternativa:

Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano de los pozos mecánicos 1, 2, 3, 4 y 5 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala difieren significativamente de los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NTG 29 001.

$$t \neq \mu$$

3.8.5. Determinación de los grados de libertad

La determinación de los grados de libertad se define como:

[Ecuación 7]

$$v = n - 1$$

Donde:

v = Grados de libertad

n = Tamaño de la muestra

3.8.6. Determinación del estadístico de prueba (t de Student calculada)

Si $n < 30$ la distribución muestral de medias se aproxima a la distribución t de Student con $n-1$ grados de libertad y variable:

[Ecuación 8]

$$t_{calc} = \frac{\bar{X} - \mu}{S / \sqrt{n}}$$

Donde:

t_{calc} = t de Student calculada

\bar{X} = Media de la muestra

μ = Media de la población (normas COGUANOR NTG 29 001)

S = Desviación estándar de la muestra

n = Tamaño de la muestra

3.8.7. Valor crítico (t de Student tabulada)

Para determinar el valor crítico de la t de Student se utiliza los datos tabulados de la tabla mostrada en el anexo 3.

Además, es necesario determinar con anterioridad el nivel de significancia según la siguiente definición:

[Ecuación 9]

$$\alpha = 1 - N_c$$

Donde:

α = Nivel de significancia

N_c = Nivel de confianza

Regla de decisión:

- Si $t_{calculada} < t_{crítico} \Rightarrow$. Se acepta la hipótesis nula o se rechaza la hipótesis alternativa.

Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano de los pozos mecánicos 1, 2, 3, 4 y 5 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala no difieren significativamente de los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NTG 29 001.

- Si $t_{calculada} > t_{crítico} \Rightarrow$. Se rechaza la hipótesis nula o se acepta la hipótesis alternativa.

Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano de los pozos mecánicos 1, 2, 3, 4 y 5 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala difieren significativamente de los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NTG 29 001.

4. RESULTADOS

Resultados obtenidos de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos.

Tabla XIV. **Resultado del pozo mecánico 1 (ingeniería) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3**

Fecha de captación		10/10	17/10	24/10	31/10	07/11	14/11	14/11		
		/2019	/2019	/2019	/2019	/2019	/2019	/2019		
Parámetro	Unidad	Resultado							LMA	LMP
		M. 1	M. 2	M. 3	M. 4	M. 5	M. 6	F. T-3		
PARÁMETROS FÍSICOS										
Color	u	5	5	5	5	5	5	5	5	35
Conductividad	μS/cm	263	362	365	363	362	363	358	750	1 500
pH	-----	7,6	7,8	7,7	7,3	7,6	7,4	8,0	7,0- 7,5	6,5- 8,5
STD	mg/L	142	193	193	193	192	193	190	500	1 000
Temperatura	°C	22,9	22,5	24,2	24,4	24,3	24,4	23,5	-----	-----
Turbidez	NTU	0,121	0,158	0,127	0,143	0,152	0,139	0,104	5	15
PARÁMETROS QUÍMICOS										
Dureza total	mg/L	150	150	146	134	120	136	140	100	500
Hierro total	mg/L	0,10	0,11	0,15	0,13	0,04	0,02	0,04	0,3	-----
Nitrato	mg/L	3,0	3,2	3,0	3,3	3,0	2,7	2,2	-----	50
Sulfato	mg/L	5,0	5,0	7,0	5,0	5,0	5,0	5,0	100	250
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS										
Coliformes T.	NMP/	<1,1	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	1,1	<1,1		
E. Coli	100	<1,1	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	1,1	<1,1	<2 - <3	
Coliformes F.	cm ³	<1,1	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	1,1	<1,1		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Resultado del pozo mecánico 2 (ingeniería) y filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7**

Fecha de captación		10/10	17/10	24/10	31/10	07/11	14/11	14/11		
		/2019	/2019	/2019	/2019	/2019	/2019	/2019		
		Resultado							LMA	LMP
Parámetro	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Filtro T-7		
PARÁMETROS FÍSICOS										
Color	u	500	500	500	500	500	500	5	5	35
Conductividad	µS/ cm	369	255	267	265	265	266	361	750	1 500
pH	-----	7,7	7,8	7,8	7,9	7,7	7,8	8,0	7,0- 7,5	6,5- 8,5
STD	mg/L	195	135	141	140	141	140	191	500	1 000
Temperatura	°C	22,5	22,7	22,8	24,3	24,2	24,2	23,5	-----	-----
Turbidez	NTU	87,90	54,00	53,50	55,10	53,40	53,90	0,37	5	15
PARÁMETROS QUÍMICOS										
Dureza total	mg/L	98	96	100	102	110	112	136	100	500
Hierro total	mg/L	2,29	2,25	2,26	2,28	3,00	2,90	0,62	0,3	-----
Nitrato	mg/L	2,3	2,9	2,8	2,6	2,5	2,6	2,3	-----	50
Sulfato	mg/L	3,0	3,0	2,0	3,0	2,0	2,1	6,0	100	250
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS										
Coliformes T.	NMP/	23	3,6	23	>23	23	>23	<1,1		
E. Coli	100	23	3,6	23	>23	23	>23	<1,1	<2 - <3	
Coliformes F.	cm ³	23	3,6	23	>23	23	>23	<1,1		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Resultado del pozo mecánico 3 (servicio USAC) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6**

Fecha de captación		10/10	17/10	24/10	31/10	07/11	14/11	14/11		
		/2019	/2019	/2019	/2019	/2019	/2019	/2019		
Parámetro	Unidad	Resultado							LMA	LMP
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Filtro M-6		
PARÁMETROS FÍSICOS										
Color	u	5	5	5	5	5	5	5	5	35
Conductividad (µS/cm)		353	352	353	351	351	352	355	750	1 500
pH	-----	7,8	8,2	8,1	7,8	7,9	7,7	8,2	7,0- 7,5	6,5- 8,5
STD	mg/L	189	188	188	186	187	187	188	500	1 000
Temperatura	°C	23,6	22,6	22,8	24,3	24,2	24,4	24,4	-----	-----
Turbidez	NTU	0,102	0,169	0,785	0,563	0,168	0,169	0,114	5	15
PARÁMETROS QUÍMICOS										
Dureza total	mg/L	124	132	126	128	129	130	136	100	500
Hierro total	mg/L	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,04	0,31	0,3	-----
Nitrato	mg/L	2,4	1,6	1,6	1,4	1,4	1,5	1,6	-----	50
Sulfato	mg/L	6,0	7,0	6,0	7,0	6,9	7,1	6,0	100	250
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS										
Coliformes T.	NMP/	<1,1	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	<1,1	<1,1		
E. Coli	100	<1,1	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<2 - <3	
Coliformes F.	cm ³	<1,1	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	<1,1	<1,1		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultado del pozo mecánico 4 (agronomía) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8**

Fecha de captación		10/10	17/10	24/10	31/10	07/11	14/11	14/11		
		/2019	/2019	/2019	/2019	/2019	/2019	/2019		
		Resultado							LMA	LMP
Parámetro	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Filtro T-8		
PARÁMETROS FÍSICOS										
Color	u	5	5	5	5	5	5	5	5	35
Conductividad (µS/cm)		409	410	416	409	410	409	358	750	1 500
pH	-----	7,0	6,8	7,6	7,4	7,1	7,4	7,9	7,0- 7,5	6,5- 8,5
STD	mg/L	216	217	220	218	217	216	181	500	1 000
Temperatura	°C	23,5	22,7	22,7	25,1	25,2	25,2	23,6	-----	-----
Turbidez	NTU	0,177	0,175	0,188	0,192	0,194	0,185	0,130	5	15
PARÁMETROS QUÍMICOS										
Dureza total	mg/L	148	146	148	150	151	154	136	100	500
Hierro total	mg/L	0,02	0,02	0,01	0,12	0,13	0,09	0,05	0,3	-----
Nitrato	mg/L	3,0	3,2	3,7	2,0	2,0	2,5	1,4	-----	50
Sulfato	mg/L	5,0	4,0	4,0	7,0	7,0	7,1	5,0	100	250
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS										
Coliformes T.	NMP/	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1		
E. Coli	100	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<2 - <3	
Coliformes F.	cm ³	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Resultado del pozo mecánico 5 (servicio USAC) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2

Fecha de captación		10/10	17/10	24/10	31/10	07/11	14/11	14/11		
		/2019	/2019	/2019	/2019	/2019	/2019	/2019		
Parámetro	Unidad	Resultado							LMA	LMP
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Filtro T-2		
PARÁMETROS FÍSICOS										
Color	u	5	5	5	5	5	5	5	5	35
Conductividad (µS/cm)		281	280	288	282	279	280	278	750	1 500
pH	-----	7,9	7,8	7,8	7,5	7,7	7,6	8,0	7,0- 7,5	6,5- 8,5
STD	mg/L	149	149	148	148	149	149	147	500	1 000
Temperatura	°C	23,6	22,6	22,8	24,8	24,9	24,9	23,3	-----	-----
Turbidez	NTU	0,220	0,180	0,254	0,189	0,273	0,270	0,126	5	15
PARÁMETROS QUÍMICOS										
Dureza total	mg/L	112	106	112	102	108	106	104	100	500
Hierro total	mg/L	0,04	0,05	0,04	0,02	0,03	0,02	0,08	0,3	-----
Nitrato	mg/L	3,5	2,2	3,0	3,1	3,1	2,9	2,1	-----	50
Sulfato	mg/L	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,0	100	250
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS										
Coliformes T.	NMP/	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1		
E. Coli	100	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<2 - <3	
Coliformes F.	cm ³	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Prueba de hipótesis para el pozo mecánico 1 (ingeniería)

Parámetro	Resultado					Criterio
	Unidad	Media	Desviación	t de Student calculada	t de Student crítica	
Color	u	5	0,00	67 082 039,32	2015	Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano del pozo mecánico 1 (ingeniería), del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, difieren significativamente de los límites máximos permisibles. Encontrándose muy por debajo de los mismos y cumpliendo con lo establecido en la norma COGUANOR NTG 29 001.
Conductividad	(µS/cm)	346,33	40,84	63,17		
pH	-----	7,57	0,19	2,81 y 11,21		
STD	mg/L	184,33	20,74	87,93		
Temperatura (LMP= 62,0°C)	°C	23,78	0,85	100,32		
Turbidez	NTU	0,14	0,01	2 340,23		
Dureza total	mg/L	139,33	11,71	68,89		
Hierro total (LMP= 5,0 mg/L)	mg/L	0,09	0,05	214,56		
Nitrato	mg/L	3,03	0,21	508,43		
Sulfato	mg/L	5,33	0,82	670,05		
Coliformes T.	NMP/ 100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		
E. Coli	NMP/ 100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		
Coliformes F.	NMP/ 100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Prueba de hipótesis para el pozo mecánico 2 (ingeniería)

Parámetro	Resultado					
	Unidad	Media	Desviación	t de Student calculada	t de Student crítica	Criterio
Color	u	500	0,00	1 039 771 609,54	2,015	Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano del pozo mecánico 2 (ingeniería), del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, difieren significativamente de los límites máximos permisibles. Encontrándose muy por debajo de los mismos y cumpliendo con lo establecido en la norma COGUANOR NTG 29 001. Exceptuando la turbidez, el color y los resultados bacteriológicos que superan los límites máximos permisibles de dicha norma.
Conductividad	(μ S/cm)	281,17	43,25	63,01		
pH	-----	7,78	0,08	38,12 y 21,29		
STD	mg/L	148,67	22,81	83,46		
Temperatura (LMP= 62,0°C)	°C	23,45	0,86	99,74		
Turbidez	NTU	59,63	13,86	7,20		
Dureza total	mg/L	103,00	6,54	135,69		
Hierro total (LMP= 5,0 mg/L)	mg/L	2,50	0,35	15,86		
Nitrato	mg/L	2,62	0,21	495,81		
Sulfato	mg/L	2,52	0,53	1 042,71		
Coliformes T.	NMP/ 100cm ³	18,15	9,70	3,49		
E. Coli	NMP/ 100cm ³	18,15	9,70	3,49		
Coliformes F.	NMP/ 100cm ³	18,15	9,70	3,49		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Prueba de hipótesis para el pozo mecánico 3 (servicio USAC)

Parámetro	Resultado					Criterio
	Unidad	Media	Desviación	t de Student calculada	t de Student crítica	
Color	u	5	0,00	67 082 039,32	2,015	Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano del pozo mecánico 3 (servicio USAC), del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, difieren significativamente de los límites máximos permisibles. Encontrándose muy por debajo de los mismos y cumpliendo con lo establecido en la norma COGUANOR NTG 29 001.
Conductividad	(µS/cm)	352,00	0,89	2 870,00		
pH	-----	7,92	0,19	16,32 y 6,72		
STD	mg/L	187,50	1,05	1 732,26		
Temperatura (LMP= 62,0°C)	°C	23,65	0,79	108,64		
Turbidez	NTU	0,33	0,28	117,29		
Dureza total	mg/L	128,17	2,86	290,95		
Hierro total (LMP= 5,0 mg/L)	mg/L	0,02	0,01	918,88		
Nitrato	mg/L	1,65	0,38	285,90		
Sulfato	mg/L	6,67	0,52	1 045,85		
Coliformes T.	NMP/100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		
E. Coli	NMP/100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		
Coliformes F.	NMP/100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. Prueba de hipótesis para el pozo mecánico 4 (agronomía)

Parámetro	Resultado					Criterio
	Unidad	Media	Desviación	t de Student calculada	t de Student crítica	
Color	u	5	0,00	67 082 039,32	2,015	Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano del pozo mecánico 4 (agronomía), del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, difieren significativamente de los límites máximos permisibles. Encontrándose muy por debajo de los mismos y cumpliendo con lo establecido en la norma COGUANOR NTG 29 001.
Conductividad	(μ S/cm)	410,50	2,74	889,57		
pH	-----	7,22	0,30	5,35 y 9,58		
STD	mg/L	217,33	1,51	1 162,43		
Temperatura (LMP= 62,0°C)	°C	24,07	1,24	68,38		
Turbidez	NTU	0,19	0,01	4 256,62		
Dureza total	mg/L	149,50	2,81	278,84		
Hierro total (LMP= 5,0 mg/L)	mg/L	0,07	0,05	201,81		
Nitrato	mg/L	2,73	0,69	154,06		
Sulfato	mg/L	5,68	1,52	358,54		
Coliformes T.	NMP/100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		
E. Coli	NMP/100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		
Coliformes F.	NMP/100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Prueba de hipótesis para el pozo mecánico 5 (servicio USAC)

Parámetro	Resultado					Criterio
	Unidad	Media	Desviación	t de Student calculada	t de Student crítica	
Color	u	5	0,00	67 082 039,32	2,015	Los resultados de los análisis para la determinación de la calidad de agua para consumo humano del pozo mecánico 5 (servicio USAC), del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, difieren significativamente de los límites máximos permisibles. Encontrándose muy por debajo de los mismos y cumpliendo con lo establecido en la norma COGUANOR NTG 29 001.
Conductividad	(µS/cm)	281,67	3,27	834,14		
pH	-----	7,72	0,15	18,48 y 11,90		
STD	mg/L	148,67	0,52	3 686,38		
Temperatura (LMP= 62,0°C)	°C	23,93	1,08	79,08		
Turbidez	NTU	0,23	0,04	810,55		
Dureza total	mg/L	107,67	3,88	226,01		
Hierro total (LMP= 5,0 mg/L)	mg/L	0,03	0,01	917,03		
Nitrato	mg/L	2,97	0,43	246,07		
Sulfato	mg/L	3,03	0,05	10 693,97		
Coliformes T.	NMP/100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		
E. Coli	NMP/100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		
Coliformes F.	NMP/100cm ³	1,10	0,00	4 248 529,16		

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. **Pozo mecánico 1 (ingeniería) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3; pozo mecánico 3 (servicio USAC) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6; pozo mecánico 4 (agronomía) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8; pozo mecánico 5 (servicio USAC) y filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-5**

Según las tablas XIV, XVI, XVII y XVIII los resultados respecto a la calidad del agua en el pozo mecánico 1 (ingeniería), pozo mecánico 3 (servicio USAC), pozo mecánico 4 (agronomía) y pozo mecánico 5 (servicio USAC) no presentan contaminación fisicoquímica ni bacteriológica, encontrándose los resultados dentro de los parámetros que contempla la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 001.

Esta situación se ha mantenido constante a lo largo del estudio, entre los meses de octubre y noviembre del año 2019, en donde se analizó un total de 6 muestras por cada parámetro de cada uno de los cinco pozos en mención.

Además, de otras tomadas de los filtros ubicados en el primer nivel del edificio T-3 (apéndice 8), primer nivel del edificio M-6 (apéndice 10), primer nivel del edificio T-8 (apéndice 11) y primer nivel del edificio del T-2 (apéndice 12). Todos respectivamente conectados a la red de distribución de cada uno de los pozos antes mencionados.

Se observa que el agua extraída, tanto de los filtros como de los pozos, se encuentra muy por encima de la calidad requerida por las normas, esto debido a que, como se observa en las tablas XIX, XXI, XXII y XXIII, cada uno de los parámetros en estudio difieren significativamente con respecto a los límites máximos permisibles en el agua de consumo humano sin sobrepasar los mismos.

Los resultados obtenidos en cada una de las muestras para el nivel de color en el agua del pozo mecánico 1 (ingeniería), pozo mecánico 3 (servicio USAC), pozo mecánico 4 (agronomía), pozo mecánico 5 (servicio USAC) en promedio, y para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3, primer nivel del edificio M-6, primer nivel del edificio T-8 y primer nivel del edificio T-2, son de 5,0 u para cada uno. Junto con su análisis estadístico, muestran que los mismos son significativamente bajos respecto a los límites máximos permisibles aceptados por la COGUANOR NTG 29 001 de 35,0 u para el agua que se utiliza con fines de consumo humano. Descartando con ello que exista contaminación por residuos orgánicos o inorgánicos.

La conductividad obtenida en cada una de las muestras se encuentra dentro de los límites permisibles considerados aptos para el consumo humano determinados por las normas COGUANOR NTG 29 001.

Se obtiene un resultado promedio de 346,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el pozo mecánico 1 (ingeniería); 352,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el pozo mecánico 3 (servicio USAC); 410,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el pozo mecánico 4 (agronomía) y 281,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el pozo mecánico 5 (servicio USAC).

Para los filtros los resultados promedio fueron de 358,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el filtro ubicado en el primer nivel de edificio T-3; 355,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6; 358,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8 y 278,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2. Por lo que la concentración total de iones, a la temperatura de estudio, es significativamente baja con respecto al límite máximo permisible de 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, establecido por la norma, con lo cual se deduce que existe una baja presencia de minerales disueltos.

Los resultados obtenidos de cada una de las muestras en la determinación del pH indican que los mismos se encuentran dentro de los límites permisibles considerados aptos para consumo humano, de acuerdo a lo establecido por la norma COGUANOR NTG 29 001. Para el pozo mecánico 1 (ingeniería), el resultado promedio de pH obtenido fue de 7,57; para el pozo mecánico 3 (servicio USAC) de 7,92; para el pozo mecánico 4 (agronomía) de 7,22 y para el pozo mecánico 5 (servicio USAC) de 7,72.

En cuanto a los filtros los resultados fueron de 8,0 para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3; 8,2 para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6; 7,9 para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8 y 8,0 para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2. Esto señala que el agua es ligeramente alcalina.

La norma COGUANOR NTG 29 001 presenta un valor para el límite máximo permisible de 1 000 mg/L de sólidos totales disueltos. Tomando en cuenta dicho valor y comparándolo con los promedios obtenidos para el pozo mecánico 1 (ingeniería) de 184,33 mg/L; pozo mecánico 3 (servicio USAC) de 187,50 mg/L; pozo mecánico 4 (agronomía) de 217,33 mg/L y pozo mecánico 5 (servicio USAC) de 148,67 mg/L.

Para los filtros los resultados fueron de 190,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel de edificio T-3; 188,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6; 181,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8 y 147,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2. Junto con su análisis estadístico, se observa una presencia o solubilidad significativamente baja de sales orgánicas (principalmente calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y materia orgánica en el agua. Por lo que, en cuanto a este parámetro, es totalmente factible utilizar dicha agua para consumo humano sin ningún tipo de tratamiento.

Si bien la temperatura no tiene un valor límite establecido por la norma COGUANOR NTG 29 001, el valor promedio obtenido de las muestras tomadas en el pozo mecánico 1 (ingeniería) es de 23,78 °C, pozo mecánico 3 (servicio USAC) de 23,65 °C; pozo mecánico 4 (agronomía) de 24,07 °C y pozo mecánico 5 (servicio USAC) de 23,93 °C.

Además, el resultado obtenido para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3 es de 23,5 °C; para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6 de 24,4 °C; para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8 de 23,6 °C y para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2 de 23,3 °C. Se encuentran dentro de los rangos permisibles para el agua de consumo humano y puesto que la relativa baja temperatura afecta el proceso fotosintético, existirá una baja remoción de materia orgánica y transferencia de calor o energía, con lo cual se obtendrá un agua con mayor concentración de oxígeno disuelto.

El límite máximo permisible recomendado por la COGUANOR NTG 29 001 para la turbidez del agua para consumo humano es de 15 NTU (unidades nefelométricas de turbidez), el cual tiene un alto índice de dispersión.

Por lo que las muestras tomadas en promedio del pozo mecánico 1 (ingeniería) tienen un nivel de turbidez de 0,140 NTU; pozo mecánico 3 (servicio USAC) de 0,330 NTU; pozo mecánico 4 (agronomía) de 0,190 NTU y pozo mecánico 5 (servicio USAC) de 0,230 NTU. Además de 0,104 NTU para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3; 0,114 NTU para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6; 0,130 NTU para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8 y 0,126 para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2.

Estos valores indican que existe una presencia significativamente baja de partículas suspendidas o disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos. Esto da como resultado que el agua presente en este punto tenga apariencia aceptable y permita un alto nivel de filtrabilidad y desinfección para procesos posteriores de ser requerido.

El límite máximo permisible establecido por la norma COGUANOR NTG 29 001 para la dureza total es de 500 mg/L. Comparándolo estadísticamente con los datos promedios obtenidos de las muestras para el pozo mecánico 1 (ingeniería) de 139,33 mg/L; pozo mecánico 3 (servicio USAC) de 128,17 mg/L; pozo mecánico 4 (agronomía) de 149,50 mg/L y pozo mecánico 5 (servicio USAC) de 107,67 mg/L. Incluyendo 140,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3; 136,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6; 136,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8 y 104,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2.

Se deduce que el contenido de calcio (y en menor medida de magnesio) disuelto, es significativamente bajo.

Por lo que su aceptabilidad por parte del consumidor no se ve afectada, en cuanto al sabor y también en cuanto a la formación de incrustaciones en equipo de distribución, procesamiento y almacenamiento de dicho vital líquido.

La norma COGUANOR NTG 29 001 no establece un valor para el límite máximo permisible de hierro, por lo que los resultados promedio obtenidos para cada una de las muestras en estudio son: del pozo mecánico 1 (ingeniería) de 0,09 mg/L; pozo mecánico 3 (servicio USAC) de 0,02 mg/L; pozo mecánico 4 (agronomía) de 0,07 mg/L y pozo mecánico 5 de 0,03 mg/L. Además de 0,04 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3; 0,31 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6; 0,05 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8 y 0,08 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2.

En conjunto con su análisis estadístico, muestran una tendencia hacia una concentración de hierro significativamente baja, dándole con ello una aceptabilidad adecuada por parte del consumidor, debido a que el agua en estudio no presentará sabor, olor y color desagradable. Y puesto que la baja concentración de hierro no dará lugar al proceso de oxidación, no se presentarán problemas en equipo de distribución, procesamiento y almacenamiento de dicho vital líquido.

Los resultados promedio obtenidos en cada una de las muestras para el nivel de nitratos del pozo mecánico 1 (ingeniería) son de 3,03 mg/L; pozo mecánico 3 (servicio USAC) de 1,65 mg/L; pozo mecánico 4 (agronomía) de 2,73 mg/L y pozo mecánico 5 (servicio USAC) de 2,97 mg/L.

Incluyendo 2,20 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3; 1,60 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6; 1,40 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8 y 2,10 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2.

Junto con su análisis estadístico, muestran que los mismos son significativamente bajos respecto a los límites máximos permisibles aceptados por la COGUANOR NTG 29 001 de 50 mg/L para el agua que se utiliza con fines de consumo humano. Descartando con ello que exista filtración o escorrentía de tierras agrícolas o contaminación por residuos humanos o animales, como consecuencia de la oxidación del amoníaco o fuentes similares.

La COGUANOR NTG 29 001 presenta un valor límite de 250 mg/L para sulfatos. Por lo que los valores promedio obtenidos son para el pozo mecánico 1 (ingeniería) de 5,33 mg/L; pozo mecánico 3 (servicio USAC) de 6,67 mg/L; pozo mecánico 4 (agronomía) de 5,68 mg/L; pozo mecánico 5 (servicio USAC) de 3,03 mg/L. Además de 5,00 para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3; 6,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio M-6; 5,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-8 y 3,00 mg/L para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-2.

Junto con su análisis estadístico, muestran que el material del terreno (formaciones rocosas) por el que discurre el agua superficial, que por filtración pasa a formar parte de las aguas subterráneas de las que se sustenta el pozo, no contiene materiales sulfatados, logrando con ello que sea totalmente factible utilizar esta agua para consumo humano.

En cuanto a los datos obtenidos para coliformes totales son de 1,1 NMP tanto para los pozos mecánicos 1 (ingeniería), 3 (servicio USAC), 4 (agronomía) y 5 (servicio USAC). Así como para los filtros ubicados en el primer nivel del edificio T-3, primer nivel del edificio M-6, primer nivel del edificio T-8 y primer nivel del edificio T-2. Y su comparación estadística respecto al rango límite de referencia establecido por la ISO 4831:2006 (R2015) de (<2-<3) NMP, se determina que se cumple completamente con la norma COGUANOR NTG 29 001, en la cual se establece una total ausencia de coliformes totales en 100 mL de agua.

Con lo anterior se afirma que no existe presencia de contaminación por exposición a heces fecales o incluso a un medio ambiente contaminado, además de bajas concentraciones de nutrientes para el óptimo desarrollo del grupo coliforme total, dando como resultado un agua apta para el consumo humano, sin ningún tipo de tratamiento. De acuerdo a los valores de coliformes fecales y E. Coli observados para el pozo mecánico 1 (ingeniería), pozo mecánico 3 (servicio USAC), pozo mecánico 4 (agronomía) y pozo mecánico 5 (servicio USAC).

Así también para el filtro ubicado en el primer nivel del edificio T-3, primer nivel del edificio M-6, primer nivel del edificio T-8 y primer nivel del edificio T-2 de 1,1 NMP, y comparándolo estadísticamente con el rango límite de referencia establecido por la ISO 4 831:2006 (R2015) de (<2-<3) NMP, se deduce que se cumple totalmente con la norma COGUANOR NTG 29 0001, en la cual se establece que no debe existir presencia de E. Coli en 100 mL de muestra.

Esto es un indicio de ausencia de contaminación por aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición en el suministro de agua. Con lo cual es totalmente viable utilizar este tipo de agua para la ingesta humana.

5.2. Pozo mecánico 2 (ingeniería) y filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7

Según la tabla XV, los resultados respecto a la calidad del agua en el pozo mecánico 2 (ingeniería) indican que no presenta contaminación fisicoquímica, encontrándose dentro de los parámetros que contempla la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 001, sin embargo, existe contaminación bacteriológica por coliformes. Esta situación se ha mantenido constante a lo largo del estudio entre los meses de octubre y noviembre del año 2019, en donde se analizó un total de 6 muestras por cada parámetro además de una tomada del filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7 (apéndice 9) y conectado a la red de distribución del pozo antes mencionado.

Se observa que el agua extraída, tanto del filtro como del pozo, se encuentra muy por encima de la calidad fisicoquímica requerida por las normas (excepto en el aspecto del color para las muestras recolectadas del pozo mecánico 2). Esto debido a que, como se observa en la tabla XX, cada uno de los parámetros en estudio difiere significativamente con respecto al límite máximo permisible para el agua de consumo humano.

Por el contrario, la calidad microbiológica del pozo no cumple con los estándares establecidos por la norma, lo cual no permite que este tipo de agua sea apta para el consumo humano sin antes darle un tratamiento adecuado.

También es importante mencionar que, debido a las malas condiciones presentadas en cuanto a la calidad bacteriológica del pozo en mención y a que el mantenimiento y desinfección del mismo no es viable en la actualidad, este no se utiliza. Y puesto que comparten las mismas líneas de distribución con el pozo mecánico 1 (ingeniería), el abastecimiento y nivel de calidad del agua suministrada a los consumidores no se ve afectado en absoluto.

Los resultados obtenidos en cada una de las muestras para el nivel de color en el agua del pozo mecánico 2 (ingeniería) en promedio de 500 u y para el filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7 de 5,0 u. Junto con su análisis estadístico, muestran que la calidad del agua del pozo no cumple con los estándares establecidos por la norma, lo hace inviable que este tipo de agua sea distribuida para consumo humano sin antes darle el tratamiento requerido.

Sin embargo, debido a que el filtro toma el agua de las líneas de conexión con el pozo mecánico 1 (ingeniería), los parámetros mostrados por el mismo son significativamente bajos respecto a los límites máximos permisibles aceptados por la COGUANOR NTG 29 001 de 35,0 u para el agua que se utiliza con fines de consumo humano, descartando con ello que exista contaminación por residuos orgánicos o inorgánicos.

La conductividad obtenida en cada una de las muestras se encuentra dentro de los límites permisibles considerados aptos para el consumo humano determinados por las normas COGUANOR NTG 29 001. Obteniéndose un resultado promedio de 281,17 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el pozo mecánico 2 (ingeniería) y 361,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el filtro ubicado en el segundo nivel de edificio T-7.

Por lo que la concentración total de iones, a la temperatura de estudio, es significativamente baja con respecto al límite máximo permisible de 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, establecido por la norma, con lo cual se deduce que existe una baja presencia de minerales disueltos.

Los resultados obtenidos de cada una de las muestras en la determinación del pH indican que los mismos se encuentran dentro de los límites permisibles considerados aptos para consumo humano (6,5 a 8,5), de acuerdo a lo establecido por la norma COGUANOR NTG 29 001. Para el pozo mecánico 2 (Ingeniería), el resultado promedio obtenido en el pH de 7,78 y 8,0 para el filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7, señala que el agua es ligeramente alcalina.

La norma COGUANOR NTG 29 001 presenta un valor para el límite máximo permisible de 1 000 mg/L de sólidos totales disueltos. Tomando en cuenta dicho valor y comparándolo con los obtenidos para el pozo mecánico 2 (ingeniería) de 148,67 mg/L en promedio y de 191,00 mg/L para el filtro ubicado en el segundo nivel de edificio T-7, junto con su análisis estadístico, se observa una presencia o solubilidad significativamente baja de sales orgánicas (principalmente calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y materia orgánica en el agua. Por lo que, en cuanto a este parámetro, es totalmente factible utilizar dicha agua para consumo humano sin ningún tipo de tratamiento.

Si bien la temperatura no tiene un valor límite establecido por la norma COGUANOR NTG 29 001, el valor promedio obtenido de las muestras tomadas en el pozo mecánico 2 (ingeniería) de 23,45 °C y el obtenido del filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7 de 23,5 °C, se encuentran dentro de los rangos permisibles para el agua de consumo humano.

Puesto que la relativa baja temperatura afecta el proceso fotosintético, existirá una baja remoción de materia orgánica y transferencia de calor o energía, con lo cual se obtendrá un agua con mayor concentración de oxígeno disuelto.

El límite máximo permisible recomendado por la COGUANOR NTG 29 001 para la turbidez del agua para consumo humano es de 15 NTU (unidades nefelométricas de turbidez), el cual tiene un alto índice de dispersión. Por lo que la muestra tomada del pozo mecánico 2 (ingeniería) de 59,630 NTU en promedio nos indica que existe una presencia significativamente alta de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos dentro del pozo mecánico.

Esto da como resultado que el agua presente en este punto no tenga apariencia aceptable ni permita un alto nivel de filtrabilidad y desinfección para procesos posteriores. Sin embargo, este aspecto no presenta peligro para el filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7 (0,370 NTU), puesto que el mismo se encuentra conectado también a la línea de distribución del pozo mecánico 1 (ingeniería), el cual, como se discutió anteriormente, contiene un agua de excelente calidad.

El límite máximo permisible establecido por la norma COGUANOR NTG 29 001 para la dureza total es de 500 mg/L. Comparándolo estadísticamente con los datos obtenidos de las muestras para el pozo mecánico 2 (ingeniería) de 103,00 mg/L en promedio y 136,00 mg/L para el filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7, se deduce que el contenido de calcio (y en menor medida de magnesio) disuelto es significativamente bajo.

Por lo que su aceptabilidad por parte del consumidor no se ve afectada, en cuanto al sabor y también en cuanto a la formación de incrustaciones en equipo de distribución, procesamiento y almacenamiento de dicho vital líquido.

La norma COGUANOR NTG 29 001 no establece un valor para el límite máximo permisible de hierro, por lo que los resultados obtenidos para cada una de las muestras en estudio del pozo mecánico 2 (ingeniería) de 2,50 mg/L en promedio y 0,62 mg/L para el filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7, en conjunto con su análisis estadístico, muestran una tendencia hacia una concentración de hierro significativamente baja. Dándole con ello una aceptabilidad adecuada por parte del consumidor debido a que el agua en estudio no presentará sabor, olor y color desagradable.

Y, puesto que la baja concentración de hierro no dará lugar al proceso de oxidación, no se presentarán problemas en equipo de distribución, procesamiento y almacenamiento de dicho vital líquido.

Los resultados obtenidos en cada una de las muestras para el nivel de nitratos del pozo mecánico 2 (ingeniería) de 2,62 mg/L en promedio y de 2,30 mg/L para el filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7, junto con su análisis estadístico, muestran que los mismos son significativamente bajos respecto a los límites máximos permisibles aceptados por la COGUANOR NTG 29 001 de 50 mg/L para el agua que se utiliza con fines de consumo humano. Descartando con ello que exista filtración o escorrentía de tierras agrícolas o contaminación por residuos humanos o animales, como consecuencia de la oxidación del amoníaco o fuentes similares.

La COGUANOR NTG 29 001 presenta un valor límite de 250 mg/L para sulfatos.

Por lo que los valores obtenidos para el pozo mecánico 2 (ingeniería) de 2,52 mg/L en promedio y 6,00 para el filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7. Junto con su análisis estadístico, muestran que el material del terreno (formaciones rocosas) por el que discurre el agua superficial, que por filtración pasa a formar parte de las aguas subterráneas de las que se sustenta el pozo, no contiene materiales sulfatados. Logrando con ello que sea totalmente factible utilizar esta agua para consumo humano.

En cuanto a los datos obtenidos para coliformes totales, son de 18,15 NMP en promedio para el pozo mecánico 2 (ingeniería) y su comparación estadística con el rango límite de referencia establecido por la ISO 4831:2006 (R2015) de <2-<3 NMP. Se determina que no se cumple con la norma COGUANOR NTG 29 001, en la cual se establece una total ausencia de coliformes totales en 100 mL de agua.

Con lo cual se confirma que existe presencia de contaminación por exposición a heces fecales o incluso a un medio ambiente contaminado, puesto que las bacterias coliformes se encuentran en mayor cantidad en la capa superficial del agua o en sedimentos del fondo, donde se presentan altas concentraciones de nutrientes que permiten el desarrollo del grupo coliforme total. Dando como resultado un agua inadecuada para el consumo humano, sin antes darle un tratamiento adecuado.

Sin embargo, esto no afecta la calidad del agua obtenida del filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7 (<1,1 NMP), debido a que el mismo tiene la opción de recibir, también, agua de la conexión con el pozo mecánico 1 (ingeniería). Permitiendo con ello que el agua que recibe el consumidor cumpla con todos los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NTG 29 001 y se factible su consumo por parte del ser humano.

De acuerdo a los valores de coliformes fecales y E. Coli observados para el pozo mecánico 2 (ingeniería) de 18,15 NMP, y comparándolo estadísticamente con el rango límite de referencia establecido por la ISO 4831:2006 (R2015) de (<2-<3) NMP, se deduce que no se cumple con la norma COGUANOR NTG 29 0001, en la cual se establece que no debe existir presencia de E. Coli en 100 mL de muestra. Siendo esto un indicio de contaminación por aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición en el suministro de agua. Debido a lo anterior es totalmente inviable utilizar este tipo de agua para la ingesta humana.

Sin embargo, esto no afecta la calidad del agua obtenida del filtro ubicado en el segundo nivel del edificio T-7 (<1,1 NMP), debido a que, como se mencionó anteriormente, existe la conexión con el pozo mecánico 1 (ingeniería).

CONCLUSIONES

1. Los parámetros físicos y químicos para el pozo mecánico 1 (ingeniería), pozo mecánico 2 de ingeniería (excepto el color), pozo mecánico 3 (servicio USAC), pozo mecánico 4 (agronomía), pozo mecánico 5 (servicio USAC) y filtros en estudio se encuentran dentro de los límites máximos permisibles descritos en la norma COGUANOR NTG 29 001.
2. No existe presencia de coliformes totales, coliformes fecales y E. Coli en el pozo mecánico 1 (ingeniería), pozo mecánico 3 (servicio USAC), pozo mecánico 4 (agronomía), pozo mecánico 5 (servicio USAC) y filtros en estudio. Por lo que, siguiendo los estatutos establecidos por la norma COGUANOR NTG 29 001, esta agua se considera potable y, por lo tanto, apta para el consumo.
3. Se han encontrado altos contenidos de Coliformes totales, coliformes fecales y E. Coli en cada una de las muestras tomadas del pozo mecánico 2 (ingeniería). La sola presencia de estos microorganismos en el agua es indicador cualitativo de contaminación, puesto que, cuando aumenta la presencia de coliformes en el agua, aumenta también la probabilidad de que esta contenga algún microorganismo patógeno.

4. Se ha determinado que el agua obtenida del pozo mecánico 2 (ingeniería) está propensa a ser contaminada por la falta de operación, mantenimiento y deterioro de la estructura de distribución del líquido, lo que además provoca una operación inadecuada del sistema y que los resultados de las muestras obtenidas de dicho pozo tengan un color y presencia de hierro que sobrepasa la media en comparación con los demás puntos en estudio.
5. Los parámetros bacteriológicos, físicos y químicos obtenidos para el pozo mecánico 1 (ingeniería), pozo mecánico 2 (ingeniería), pozo mecánico 3 (servicio USAC), pozo mecánico 4 (agronomía) y pozo mecánico 5 (servicio USAC), varían significativamente con respecto a la norma COGUANOR NTG 29 001. Esto debido a que todos, exceptuando el pozo mecánico 2, en su aspecto bacteriológico y de color, se encuentran muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la norma.
6. Los pozos mecánicos 1 (ingeniería), 3 (servicio USAC), 4 (agronomía) y 5 (servicio USAC) tienen una calidad de agua prácticamente segura para beber, debido al cumplimiento de la norma COGUANOR NTG 29 001.

RECOMENDACIONES

1. El agua distribuida en los edificios del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala no necesita de un tratamiento químico previo dado que el contenido de analitos presentes en la misma se encuentra dentro de los límites máximos permisibles de la norma COGUANOR NTG 29 001. Por lo que se considera no dañina en este aspecto para la salud humana.
2. Que las autoridades de la Facultad de Ingeniería, del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realicen un análisis económico de costo/beneficio para la restauración, operación y mantenimiento del pozo mecánico 2 (ingeniería), debido a que existe presencia de coliformes totales, coliformes fecales y E. Coli en el agua obtenida de dicho pozo, que actualmente se encuentra en desuso.
3. Que la Unidad de Planificación, junto con las autoridades de cada una de las facultades responsables del mantenimiento de los pozos mecánicos instalados en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, procedan a instalar contadores para la determinación del consumo de agua, con el objetivo de tener un número exacto del volumen de agua consumido por las personas que residen temporalmente dentro de sus instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23a ed. USA: 2017. 1 796 p.
2. ARRIAZA, A.; WAIGHT, S.; CONTRERAS, C.; RUANO, A.; LÓPEZ, A. y ORTÍZ, D. *Determinación bacteriológica de la calidad del agua para consumo humano obtenida de filtros ubicados dentro del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Vol. 25. No. 2. 2015. 9 p,
3. BROWN, Theodore; LEMAY, Eugene; BURSTEN, Bruce; MURPHY, Catherine; WOODWARD, Patrick. *Química, la ciencia central*. México, D.F.: Pearson Education, 2014. 1 200 p.
4. Comisión Guatemalteca de Normas. *Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29 001, agua para consumo humano (agua potable), especificaciones*. [en línea]. <<http://www.ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2015/07/04-COGUANOR-NTG-29-001-1a-Revision.pdf>>. [Consulta: septiembre de 2018].
5. DEVORE, Jay. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México D.F.: Cengage Learning, 2008. 742 p.

6. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala. *Procedimientos para exámenes bacteriológicos del agua*. Guatemala: USAC, 2016. 20 p.
7. HIDALGO MENDOZA, Amilcar Ramiro. *Evaluación del sistema de agua potable de los edificios T-1 y T-3 de la Facultad de Ingeniería y propuesta de soluciones*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2001. 100 p.
8. International Organization for Standardization. *Normas ISO 4 831*. Ginebra, Suiza: 2006. 11 p.
9. JENKINS, David; SNOEYINK, Vernon. *Química del agua*. México D.F.: Limusa S.A. de C.V., 2002. 495 p.
10. Laboratorios Dilab S.A. *Cotización de productos*. [en línea]. <<http://www.dilabsa.com/es/categoria-producto/agua/agua-agua-potable/>>. [Consulta: octubre de 2018].
11. MARTÍNEZ C, Juan Pablo. *Diagnóstico y propuesta de una línea de tratamiento del agua suministrada a los edificios de la facultad de ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria zona 12*. Trabajo de graduación de Ing. Química, Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 74 p.

12. MONROY GARCÍA, Elia Melina. Diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica en agua de suministro potable para 6 aldeas y cabecera municipal en el municipio de San Vicente Pacaya, Escuintla conforme a la Norma Coguanor NGO 29001:99. Trabajo de graduación de Maestro en Artes de la Maestría en Gestión de la Calidad con Especialidad en Inocuidad de Alimentos, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 69 p.
13. Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable*. [en línea]. <https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/>. [Consulta: septiembre de 2018].
14. RAMOS MALDONADO, Francisco Josué. *Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de San José, departamento de Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Químico, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, Guatemala, 2006. 97 p.
15. Sección de Estadística, Departamento de Registro y Estadística, Dirección General de Administración, Universidad de San Carlos de Guatemala. *Avance Estadístico No. 01-2018*. [en línea]. <https://registro.usac.edu.gt/formularios_rye/AvanceEstad01_2018.pdf>. [Consulta: septiembre de 2018].
16. SMITH, Tomas; SMITH, Robert. *Ecología*. Madrid, España: Pearson Education, 2007. 776 p.

17. SOLÓRZANO PONCE, 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.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, Guatemala, 2005. 128 p.

18. SUASNÁVAR, María. *Determinación de la calidad del agua de los laboratorios de la Universidad de San Carlos de Guatemala y sus posibles tratamientos.* Trabajo de graduación de Ing. Química, Facultad de Ingeniería. de San Carlos, Guatemala, 2000. 102 p.

APÉNDICES

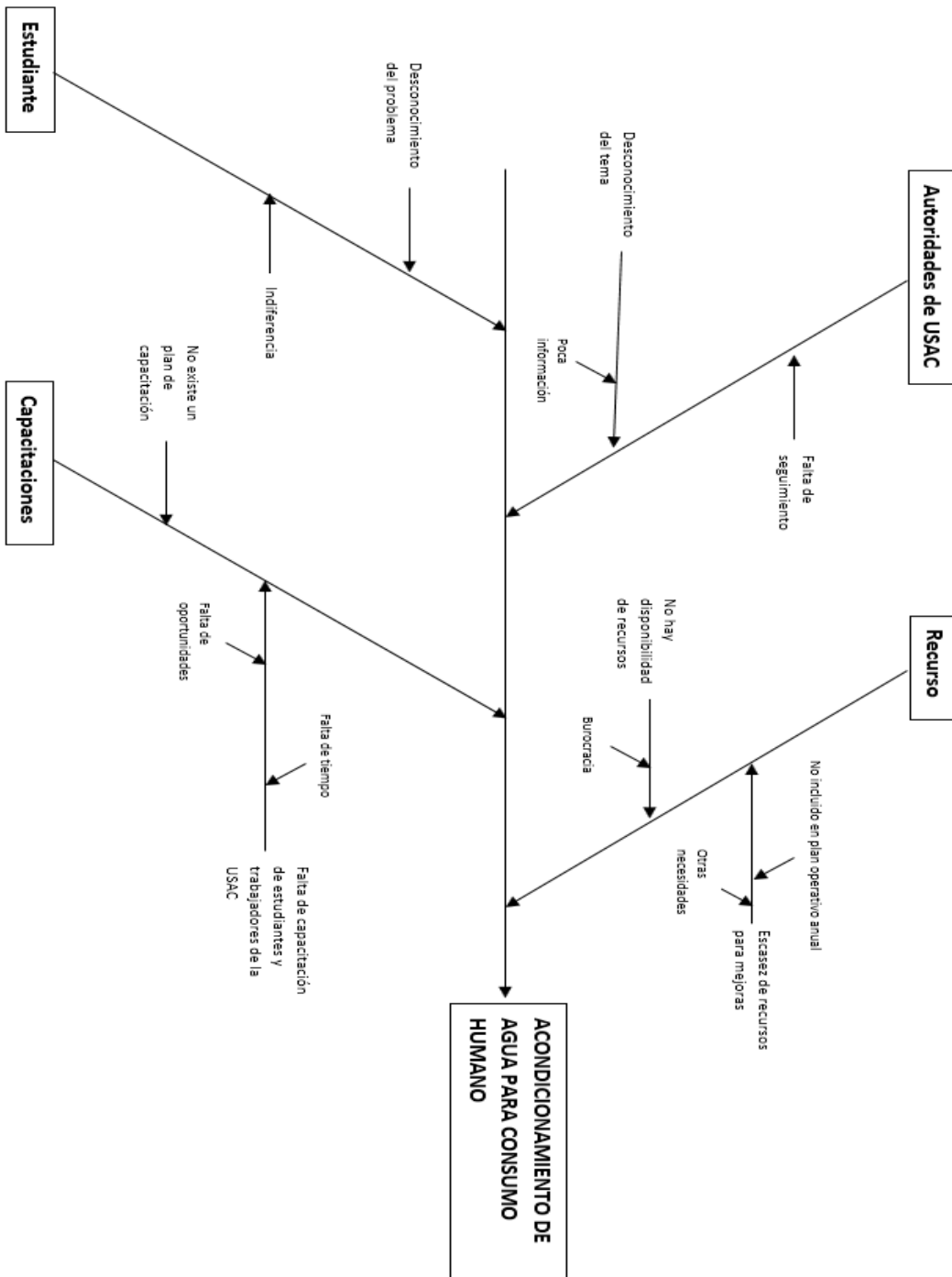
Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

Con base en el pensum de ingeniería química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, en la línea de estudio es importante contar con la aprobación de los siguientes cursos.

CÓDIGO DEL CURSO	REQUISITO	PRE-REQUISITO	
	NOMBRE DEL CURSO	CÓDIGO DEL CURSO	NOMBRE DEL CURSO
354	Química 3	-----	-----
356	Química 4	354	Química 3
362	Análisis cualitativo	356	Química 4
364	Análisis cuantitativo	362	Análisis cualitativo
005	Técnicas de estudio y de investigación	-----	-----
380	Físico química 1	114	Matemática intermedia 3
		356	Química 4
386	Laboratorio de físico química 1	380	Físico química 1
440	Microbiología	360	Química orgánica 2
		732	Estadística 1
370	Química ambiental	028	Ecología
		380	Físico química 1
198	Calidad del agua	440	Microbiología
090	Programación de computadoras 1	114	Matemática intermedia 3
		732	Estadística 1
1023	Diplomado acondicionamiento del agua para la industria	-----	-----

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Pozo mecánico 1 (ingeniería)



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Pozo mecánico 2 (ingeniería)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Pozo mecánico 3 (servicio USAC)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Pozo mecánico 4 (agronomía)



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Pozo mecánico 5 (servicio USAC)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Filtro del primer nivel en edificio T-3



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Filtro del segundo nivel en edificio T-7



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Filtro del primer nivel en edificio M-6



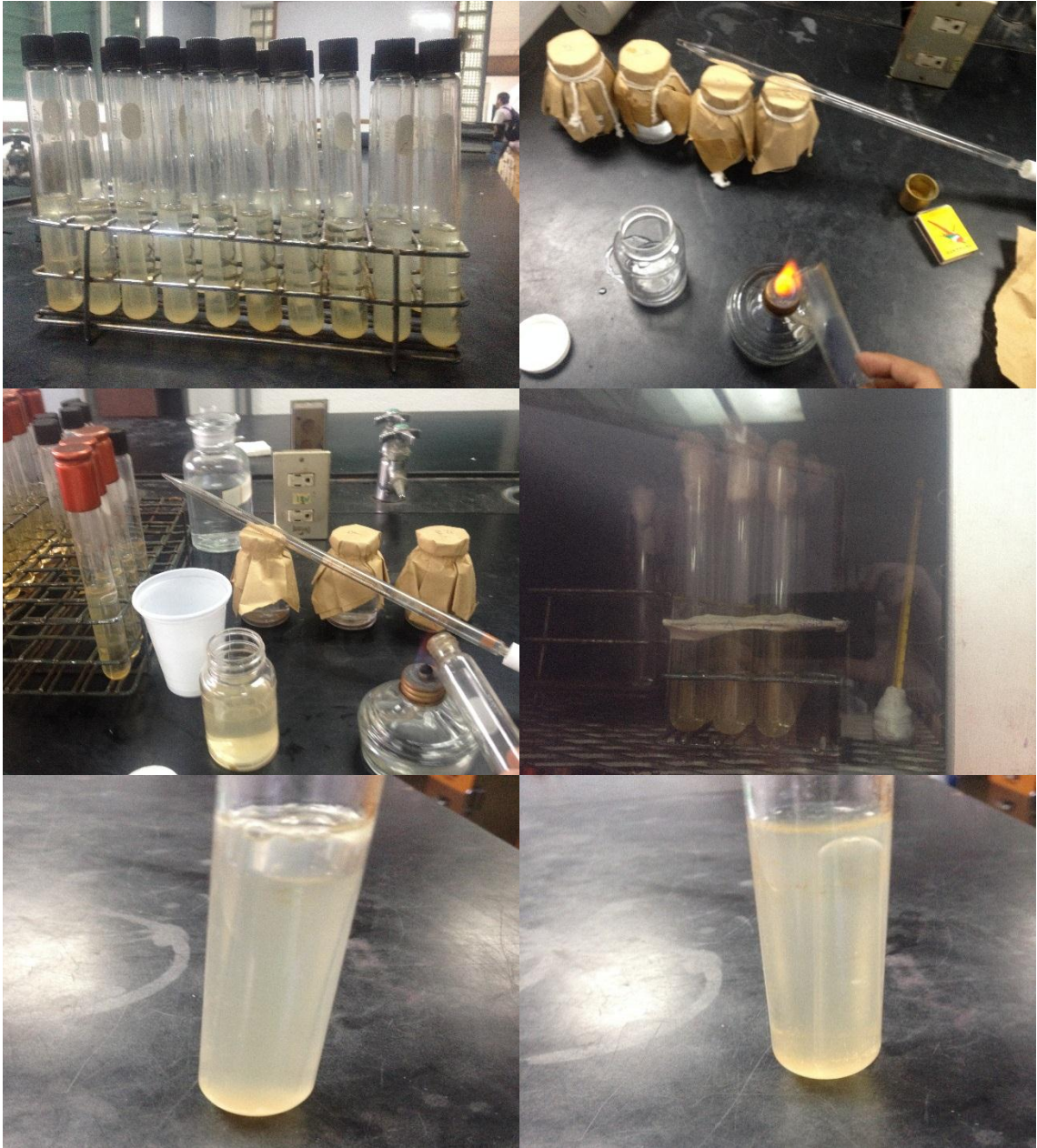
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. Filtro del primer nivel en edificio T-2



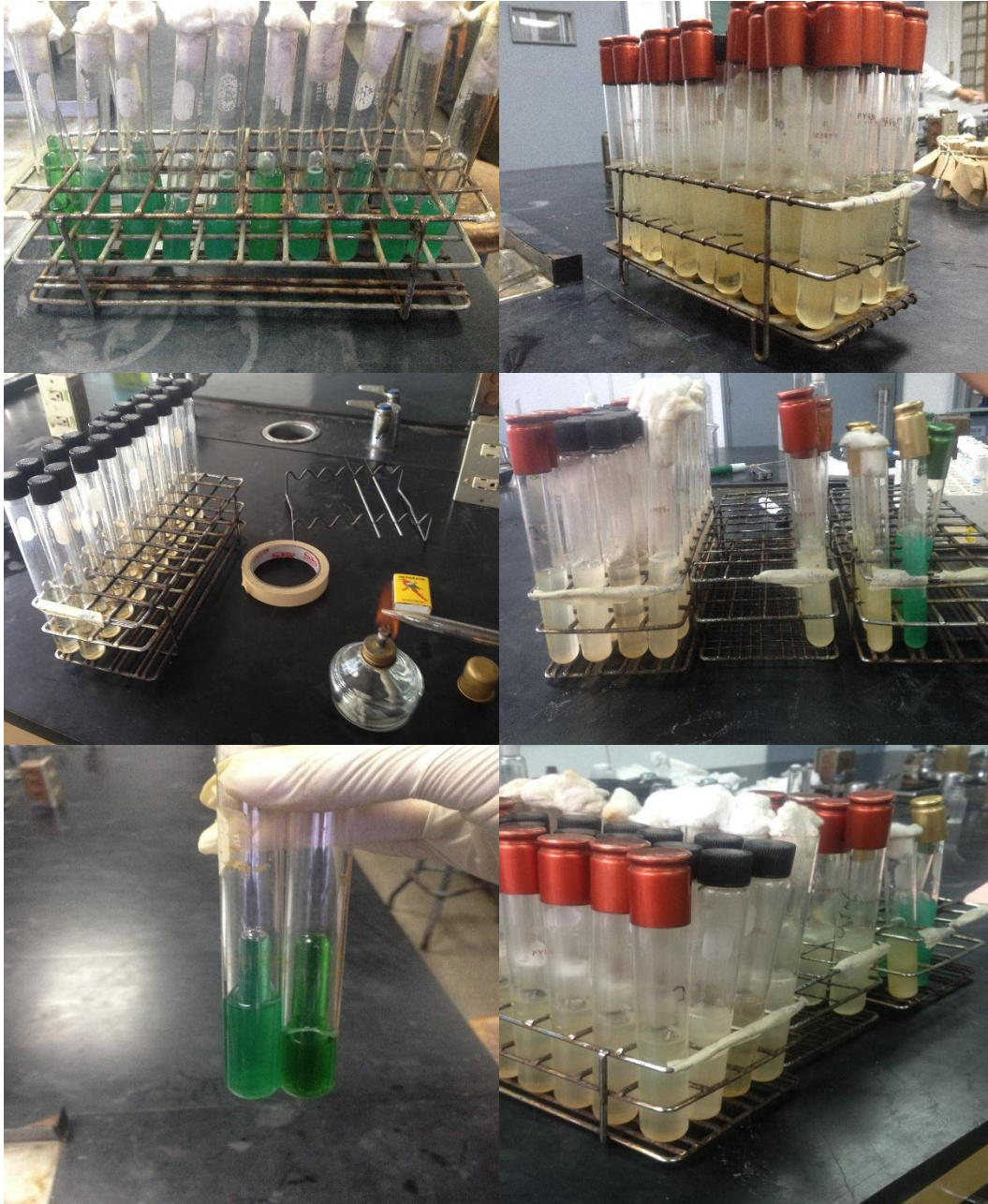
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. Prueba presuntiva



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. Prueba confirmativa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. Análisis fisicoquímico



Continuación del apéndice 15.



Continuación del apéndice 15.



Continuación del apéndice 15.



Fuente: elaboración propia.

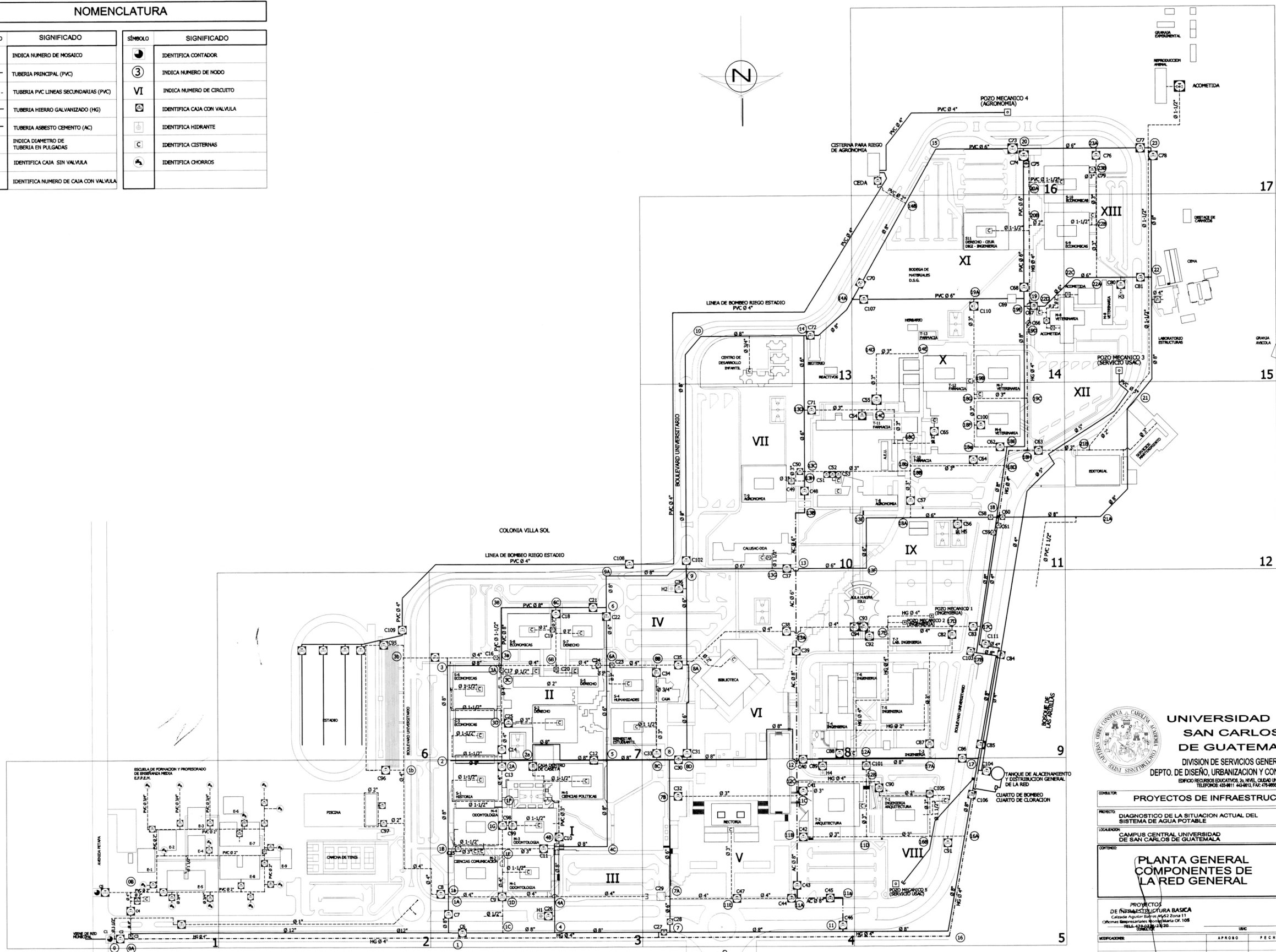
ANEXOS


Anexo 1. **Sistema de agua potable de la USAC**

Fuente: División de Servicios Generales, Departamento de Diseño, Urbanización y Construcciones,
Universidad de San Carlos de Guatemala. *Mapa del sistema de agua potable de la USAC. s/p.*

NOMENCLATURA

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	SÍMBOLO	SIGNIFICADO
12	INDICA NUMERO DE MOSAICO	●	IDENTIFICA CONTADOR
—	TUBERIA PRINCIPAL (PVC)	③	INDICA NUMERO DE NODO
- - - -	TUBERIA PVC LINEAS SECUNDARIAS (PVC)	VI	INDICA NUMERO DE CIRCUITO
- · - · -	TUBERIA HIERRO GALVANIZADO (HG)	⊕	IDENTIFICA CAJA CON VALVULA
—	TUBERIA ASBESTO CEMENTO (AC)	⊕	IDENTIFICA HIDRANTE
∅ 8"	INDICA DIAMETRO DE TUBERIA EN PULGADAS	C	IDENTIFICA CISTERNAS
□	IDENTIFICA CAJA SIN VALVULA	⊕	IDENTIFICA CHORROS
C35	IDENTIFICA NUMERO DE CAJA CON VALVULA		





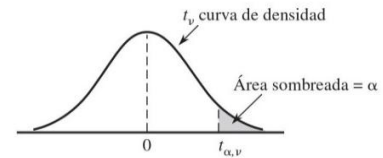
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 DIVISION DE SERVICIOS GENERALES
 DEPTO. DE DISEÑO, URBANIZACION Y CONSTRUCCIONES
 EDIFICIO RECTORIA EDUCATIVOS, 2da. AVENIDA UNIVERSITARIA
 TELEFONO: 4388111 ALAMBRE FAX: 4388888

PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA BASICA	
CORRECTOR: DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE LOCALIDAD: CAMPUS CENTRAL UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA COPIAS: 10	APROBADO: F. CONTRERAS DISEÑADO: PABLO ALCANTARA ESCALA: 1: 2,000 FECHA: MARZO DE 2003
PLANTA GENERAL COMPONENTES DE LA RED	
PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA BASICA Calle de la Reforma, Zona 11 Oficina de Ingeniería y Construcción Teléfono: 4388111	
APROBADO: _____ FECHA: _____ DISEÑADO: _____	1 / 19

Anexo 2. **Ubicación de pozos mecánicos de la USAC**

Fuente: División de Servicios Generales, Departamento de Diseño, Urbanización y Construcciones,
Universidad de San Carlos de Guatemala. *Mapa del sistema de agua potable de la USAC.* s/p.

Anexo 3. Valores críticos para distribuciones T



		α						
ν		0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
1		3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.31	636.62
2		1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.326	31.598
3		1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.213	12.924
4		1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5		1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6		1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7		1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8		1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9		1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10		1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11		1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12		1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13		1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14		1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15		1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16		1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17		1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18		1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19		1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20		1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21		1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22		1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23		1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.767
24		1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25		1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26		1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27		1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28		1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29		1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30		1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
32		1.309	1.694	2.037	2.449	2.738	3.365	3.622
34		1.307	1.691	2.032	2.441	2.728	3.348	3.601
36		1.306	1.688	2.028	2.434	2.719	3.333	3.582
38		1.304	1.686	2.024	2.429	2.712	3.319	3.566
40		1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
50		1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.262	3.496
60		1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
120		1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.160	3.373
∞		1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291

Fuente: DEVORE, Jay. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 671.

Anexo 4. **MPN Index and 95 % confidence limits for all combinations of positive and negative results when ten 10-mL portions are used**

No. Of tubes giving positive reaction out of 10(10 mL each)	MPN Index/ 100 mL	95% Confidence limits (Exact)	
		Lower	Upper
0	<1,1	-----	3,4
1	1,1	0,051	5,9
2	2,2	0,37	8,2
3	3,6	0,91	9,7
4	5,1	1,6	13
5	6,9	2,5	15
6	9,2	3,3	19
7	12	4,8	24
8	16	5,8	34
9	23	8,1	53
10	>23	13	-----

Fuente: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. *MPN index*. p. 9-53.