

**ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD
MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD DE SANTANDER
UDES CUCUTA 2021-A**

JENNIFER LISETH COMBARIZA BOHORQUEZ.

CÓDIGO: 02120171036

DERLY DAYANNA CHACÓN PEÑARANDA.

CÓDIGO: 02130172035

**UNIVERSIDAD DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS Y DE LA SALUD
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO
CÚCUTA
2021**

**ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD
MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD DE SANTANDER
UDES CUCUTA 2021-A**

JENNIFER LISETH COMBARIZA BOHORQUEZ.

DERLY DAYANNA CHACÓN PEÑARANDA.

Trabajo de Grado realizado para optar al Título de Bacteriólogo y
Laboratorista Clínico.

Asesor Científico

M.Sc. Microbióloga. Karen P. Martínez.

Asesor Metodológico

M.Sc. Lic. Jael Contreras Rangel

**UNIVERSIDAD DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS Y DE LA SALUD
PROGRAMA DE BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO
CÚCUTA
2021**

ADVERTENCIA

Las autoras, **JENNIFER LISETH COMBARIZA BOHORQUEZ. Y DERLY DAYANNA CHACÓN PEÑARANDA.**, autoriza a la UNIVERSIDAD DE SANTANDER (UDES) la reproducción total o parcial de este documento, con la debida cita de reconocimiento de la autoría y cede a la misma Universidad los derechos patrimoniales con fines de investigación, docencia e institucionales, consagrado en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 y las normas que lo instituyan o modifiquen.

(Artículo 4º, Acuerdo 0066 de 2003)

PAGINA DE ACEPTACIÓN

ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD DE SANTANDER UDES CUCUTA 2021-A

NOTA OBTENIDA

4.2

NOTA OTORGADA

Aprobada.

**YESMIT KARINA RIOS RAMIREZ
JURADO**

**CESAR TADEO RODRIGUEZ ALVAREZ
JURADO**

**KAREN PIEDAD MARTÍNEZ MARCIALES
DIRECTOR CIENTÍFICO**

**JAEI CONTRERAS RANGEL
ASESOR METODOLÓGICO**

**DRA. YOJANNA PERDOMO DOMINGUEZ
COORDINADORA DEL PROGRAMA DE
BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO**

San José de Cúcuta, 09 de diciembre de 2021.

ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJOS DE GRADO FACULTAD DE SALUD

El Consejo Académico en uso de sus facultades que le otorga el Acuerdo 010 del 9 de abril de 2014, determina la calificación de Trabajos de Grado así:

Artículo cuarto: El trabajo de grado puede desarrollarse en diferentes modalidades las cuales son:

- a. Participación en proyecto de investigación X
- b. Pasantía social - comunitaria _____
- c. Práctica Empresarial _____
- d. Proyecto de emprendimiento _____

Artículo décimo cuarto: Los Trabajos de grado tendrán la siguiente escala de valoración según la calificación final en cualquiera de sus categorías: a. Aprobado laureado, b. Aprobado meritorio, c. Aprobado, d. Aplazado, e. Rechazado.

APROBADO LAUREADO: Se considera cuando éste sea un aporte de conocimiento nuevo a la ciencia y tecnología dentro de la solución de problemas de la comunidad o de la Universidad de Santander. Valoración 4.9 – 5.0

APROBADO MERITORIO: Se considera cuando constituya un aporte importante al área específica de la disciplina dentro de la solución de problemas de la comunidad o de la institución. Valoración 4.7 – 4.8

APROBADO: Se considera cuando cumpla con los objetivos que fueron planteados en él y con todos los requisitos exigidos por cada comité en su propia reglamentación según la modalidad de la que se trate. Valoración 3.5 – 4.6

APLAZADO: Se considera por causas fortuitas, disciplinarias, o de índole personal debidamente justificadas que sean estudiadas y aprobadas por el respectivo comité de trabajo de grado. Valoración 3.0 – 3.4

RECHAZADO: Se considera cuando se demuestre que el (los) estudiante (s) ha (n) incurrido en plagio en su elaboración o en faltas al Reglamento Académico y Estudiantil de la Institución o contra terceros que hayan sido parte del proyecto. Valoración 2.9 – Menor calificación.

El Comité de Trabajos de Grado por Acta No. **15** del día **23** del mes **noviembre** de **2021** designa Jurados Calificadores del Trabajo de Grado:

ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD DE SANTANDER UDES CUCUTA 2021-A

Presentado por la alumna:

DERLY DAYANNA CHACON PEÑARANDA

Código: 02130172035

Correo: cuc13172035@mail.udesa.edu.co

Celular: 3124406264

Programa: **Bacteriología y Laboratorio Clínico**

Los Jurados Calificadores:

YESMIT KARINA RIOS RAMIREZ

CESAR RODRÍGUEZ

Confirmando la siguiente calificación:

Categoría,

Aprobado

Valoración,

4.2

OBSERVACIONES:

Ninguna

En San José de Cúcuta a los **9** días del mes de **diciembre** de **2021**.

En Constancia firman:

Jurado

Jurado



ACTA DE SUSTENTACION DE TRABAJOS DE GRADO FACULTAD DE SALUD

El Consejo Académico en uso de sus facultades que le otorga el Acuerdo 010 del 9 de abril de 2014, determina la calificación de Trabajos de Grado así:

Artículo cuarto: El trabajo de grado puede desarrollarse en diferentes modalidades las cuales son:

- a. Participación en proyecto de investigación X
- b. Pasantía social - comunitaria _____
- c. Práctica Empresarial _____
- d. Proyecto de emprendimiento _____

Artículo décimo cuarto: Los Trabajos de grado tendrán la siguiente escala de valoración según la calificación final en cualquiera de sus categorías: a. Aprobado laureado, b. Aprobado meritorio, c. Aprobado, d. Aplazado, e. Rechazado.

APROBADO LAUREADO: Se considera cuando éste sea un aporte de conocimiento nuevo a la ciencia y tecnología dentro de la solución de problemas de la comunidad o de la Universidad de Santander. Valoración 4.9 – 5.0

APROBADO MERITORIO: Se considera cuando constituya un aporte importante al área específica de la disciplina dentro de la solución de problemas de la comunidad o de la institución. Valoración 4.7 – 4.8

APROBADO: Se considera cuando cumpla con los objetivos que fueron planteados en él y con todos los requisitos exigidos por cada comité en su propia reglamentación según la modalidad de la que se trate. Valoración 3.5 – 4.6

APLAZADO: Se considera por causas fortuitas, disciplinarias, o de índole personal debidamente justificadas que sean estudiadas y aprobadas por el respectivo comité de trabajo de grado. Valoración 3.0 – 3.4

RECHAZADO: Se considera cuando se demuestre que el (los) estudiante (s) ha (n) incurrido en plagio en su elaboración o en faltas al Reglamento Académico y Estudiantil de la Institución o contra terceros que hayan sido parte del proyecto. Valoración 2.9 – Menor calificación.

El Comité de Trabajos de Grado por Acta No. 15 del día 23 del mes noviembre de 2021 designa Jurados Calificadores del Trabajo de Grado:

ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD DE SANTANDER UDES CUCUTA 2021-A

Presentado por la alumna:

JENNIFER LISETH COMBARIZA BOHORQUEZ

Código: 02120171036

Correo: cuc12171036@mail.udesa.edu.co

Celular: 3115660778

Programa: **Bacteriología y Laboratorio Clínico**

Los Jurados Calificadores:

YESMIT KARINA RIOS RAMIREZ

CESAR RODRÍGUEZ

Confirmando la siguiente calificación:

Categoría,	Valoración,
<u>Aprobado</u>	<u>4.2.</u>

OBSERVACIONES:

Ninguna

En San José de Cúcuta a los 9 días del mes de diciembre de 2021.

En Constancia firman:

Jurado  _____

Jurado  _____

AGRADECIMIENTOS

A DIOS primeramente por darnos la vida, la salud, la fuerza para seguir en nuestro diario vivir permitiéndonos empezar y culminar con éxito este proceso satisfactoriamente y por llenarnos de Fe aun en medio de las adversidades logrando salir victoriosas, este trabajo de Tesis es una gran Bendición porque gracias a él esta meta está cumplida.

A Nuestra directora científica, la microbióloga. KAREN MARTINEZ, por su confianza, apoyo e interés en ayudarnos con este trabajo gracias a ti profe por estar presente en cada momento que lo requerimos por brindarnos su amistad, sus conocimientos que son base fundamental en nuestra formación como personas y como profesionales.

A Nuestro asesor metodológico MSc. JAEL CONTRERAS RANGEL, por ser una gran persona un gran ser humano un gran docente con principios y valores gracias profe por su esfuerzo en ayudarnos por brindarnos más que sus conocimientos una sincera amistad y enseñarnos a no tirar la toalla y no darnos por vencidos.

A la UNIVERSIDAD DE SANTANDER UDES, por darnos la oportunidad de ser parte de ella como estudiantes y por prestar sus servicios como una institución formadora de grandes profesionales con ética y calidad humana.

DEDICATORIA

Dedicatoria Derly:

A DIOS primeramente por darnos la vida, la salud, la fuerza para seguir en nuestro diario vivir permitiéndonos empezar y culminar con éxito este proceso satisfactoriamente y por llenarnos de Fe aun en medio de las adversidades logrando salir victoriosas, este trabajo de Tesis es una gran Bendición porque gracias a él esta meta está cumplida.

A mis Padres, por su amor y esfuerzo que me dieron para que día a día y año tras año saliera adelante con esta hermosa carrera y así lograr culminar gracias por ser mi fuente de inspiración, apoyo, fortaleza, y constancia.

A mi Esposo mi compañero de vida por su amor y comprensión por ser ejemplo de perseverancia por cada esfuerzo y sacrificio para apoyarme económicamente, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre has estado conmigo desde el inicio hasta el final.

A mi amado Hijo por llegar en el momento perfecto por ser fuente de motivación para superarme cada día y lograr construir un futuro mejor con la ayuda de DIOS.

A Nuestra Directora del programa y Docentes que dieron lo mejor de cada uno para formarnos como profesionales íntegros con principios y valores por compartir con nosotros sus conocimientos y enseñanzas.

Dedicatoria Jennifer:

A Dios por su amor infinito, por permitirme alcanzar mis sueños y metas, por brindarme la sabiduría y la fortaleza necesaria dentro de mi proceso de formación profesional.

A mis padres Mariela y German por su apoyo incondicional y su gran esfuerzo por hacer esto posible, por siempre ser la voz de aliento de mi diario vivir, gracias por cada una de las enseñanzas de perseverancia y constancia, por ser seres maravillosos en mi vida y creer siempre en mí.

A mi esposo Pedro por estar en los momentos más difíciles de mi vida durante en este proceso, por ser compañía y mi bastón en este camino para no rendirme y seguir adelante.

A mi gran compañera y amiga de tesis Derly por trabajar juntas para realizar de manera satisfactoria lo que tanto anhelábamos que a pesar de las dificultades luchamos juntas por lograrlo

**ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD
MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD DE SANTANDER
UDES CUCUTA 2021-A**

Autoras

Jennifer Liseth Combariza Bohórquez.

Derly Dayanna Chacón Peñaranda.

Asesor Científico

M.Sc. Microbióloga. Karen P. Martínez.

Asesor Metodológico

M.Sc. Lic. Jael Contreras Rangel

Palabras clave: cloro libre residual, muestra de cloro, agua potable, Escherichia coli.

RESUMEN

El propósito del estudio fue analizar los factores que afectan la calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-“A”. A tal fin se diseñó una investigación de nivel descriptivo y diseño de campo que se desarrolló en cuatro fases fase preparatoria, fase descriptiva, fase analítica y fase de cierre. En la primera fase se identificaron los diferentes microorganismos y se realizaron los análisis microbiológicos y fisicoquímicos

de las muestras. En la segunda fase se prepararon los medios de cultivo, se realizó el aislamiento de materiales, las tomas de muestras. En la tercera fase se compararon los resultados de los análisis con la resolución 2115 del 2007, y en la cuarta fase se corrobora la hipótesis de investigación. La población se conformó por el agua utilizada para el consumo humano, las muestras se obtuvieron de las aguas tomadas de los tanques de almacenamiento y de los puntos de hidratación. Los resultados del estudio determinan que el 70% de los resultados de los mencionados muestreos no está entre los parámetros de la norma. El Nivel de riesgo del cloro y de los coliformes totales se encuentran en nivel alto y medio, el pH y *Escherichia coli* están sin riesgo, por consiguiente, se concluye que su consumo tiene una alta potencialidad de afectar la salud de los consumidores de agua en el campus de la UDES-Cúcuta.

**ANALYSIS OF THE FACTORS AFFECTING THE MICROBIOLOGICAL
QUALITY OF WATER AT THE UNIVERSITY OF SANTANDER UDES
CUCUTA 2021-A**

Authors

Jennifer Lizeth Combariza Bohorquez
Derly Dayana Chacón Peñaranda

Scientific advisor

M.Sc. Microbiologist. Karen P. Martinez

Methodological Advisor

M.Sc. Mr. Jael Contreras Rangel

Keywords: residual free chlorine, chlorine sample, drinking water, Escherichia coli.

ABSTRACT

The purpose of the study was to analyze the factors that affect the microbiological quality of water at the University of Santander UDES Cúcuta 2021- "A". To this end, a descriptive-level research and field design was designed that was developed in four phases, preparatory phase, descriptive phase, analytical phase and closing phase. In the first phase, the different microorganisms were identified and the microbiological and physicochemical analyzes of the samples were carried out. In the second phase, the culture media were prepared, the materials were isolated, and the samples were taken. In the third phase, the results of the analyzes were compared with

resolution 2115 of 2007, and in the fourth phase the research hypothesis was corroborated. The population was made up of the water used for human consumption, the samples were obtained from the waters taken from the storage tanks and from the hydration points. The results of the study determine that 70% of the results of the aforementioned samplings are not among the parameters of the standard. The risk level of chlorine and total coliforms are at high and medium levels, the pH and Escherichia coli are without risk, therefore, it is concluded that their consumption has a high potential to affect the health of water consumers. at the UDES-Cúcuta campus.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	21
INTRODUCCIÓN	22
1. PROBLEMA	23
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	27
1.3 OBJETIVOS	27
1.3.1 Objetivo General.....	27
1.3.2 Objetivos Específicos.....	27
1.4 JUSTIFICACIÓN	28
2. MARCO REFERENCIAL.....	30
2.1 ANTECEDENTES	30
2.1.1 Internacionales	30
2.1.2 Nacionales.....	36
2.1.3 Locales	40
2.2 MARCO TEÓRICO.....	42
2.2.1 Fundamentos Teóricos del Agua y Seguridad Alimentaria	42
2.2.2 Condiciones de Almacenamiento y Tanques de Almacenamiento.	52
2.2.3 Contaminación Biológica de las Aguas.....	64
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	73
2.4 MARCO LEGAL	77
2.5 MARCO CONTEXTUAL.....	80
2.6 SISTEMA DE HIPOTESIS.....	81
2.7 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	82
3. MARCO METODOLÓGICO	84
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	84
3.1.1 Nivel de Investigación.....	84
3.1.2 Diseño de la Investigación.....	84
3.2 MÉTODOS	85

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	87
3.3.1 Población.....	87
3.3.2 Muestra.....	87
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	88
3.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS. ...	88
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	90
4.1 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	90
4.1.1 Factores que afectan la calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-A, mediante revisión del cloro, temperatura y pH in situ.	90
4.1.2 Nivel de calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-A., mediante métodos estandarizados de laboratorio.....	95
4.1.3 Índice de riesgo de calidad del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-A., mediante aplicación de procedimientos estadísticos.....	101
4.2 DISCUSIÓN	106
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
5.1 CONCLUSIONES.....	110
5.2 RECOMENDACIONES	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXOS	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de las Aguas.	42
Tabla 2. Frecuencia y actividades de mantenimiento preventivo.	60
Tabla 3. Operacionalización de las Variables.....	82
Tabla 4. Factor cloro (mg/L)	90
Tabla 5. Factor Temperatura (°C).....	92
Tabla 6. Factor pH.....	93
Tabla 7. Aerobios mesófilos (UFC/100mL).....	95
Tabla 8. Coliformes totales (UFC/100mL)	97
Tabla 9. Coliformes fecales (UFC/100mL)	98
Tabla 10. Pseudomonas aeruginosa (Bacterias/mL).....	99
Tabla 11. Escherichia coli (UFC/100mL)	100
Tabla 12. Tanque Administrativo	102
Tabla 13. Filtro Administrativo	102
Tabla 14. Tanque Arhuaco	103
Tabla 15. Tanque Chitareros	104
Tabla 16. Filtro Chitareros	104
Tabla 17. Laboratorio Biotecnología y Calidad e Inocuidad Alimentaria.....	105

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Factor cloro (mg/L)	91
Gráfico 2. Factor Temperatura (°C)	92
Gráfico 3. Factor pH.....	94
Gráfico 4. Aerobios mesófilos (UFC/100mL)	96
Gráfico 5. Coliformes totales (UFC/100mL)	97
Gráfico 6. Coliformes fecales (UFC/100mL)	98
Gráfico 7. Pseudomonas aeruginosa (Bacterias/mL).....	100
Gráfico 8. Escherichia coli (UFC/100mL).....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Khan Academia.....	45
Figura 2. Comité de Seguridad Alimentaria. Las múltiples conexiones del agua con la seguridad alimentaria y la nutrición.	48
Figura 3. Grupo TAR.....	52
Figura 4. Tanque de almacenamiento de agua potable	56
Figura 5. Kit de Comprobación. Evaluación del cloro.....	60
Figura 6. Colonias Bacterianas desarrolladas sobre membrana (34)	66
Figura 7. Tubos positivos en disoluciones (34)	66
Figura 8. Ubicación de la UDES Cúcuta	81

GLOSARIO

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA: “son los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos” (1).

ANÁLISIS BÁSICOS: “es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y *Escherichia coli*” (1)

ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS: “es el procedimiento que se efectúa para las determinaciones físicas, químicas y microbiológicas no contempladas en el análisis básico, que se enuncian en la presente Resolución y todas aquellas que se identifiquen en el mapa de riesgo” (1).

ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DEL AGUA: “son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas” (1)

COLOR RESIDUAL LIBRE: “es aquella porción que queda en el agua después de un período de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ión hipoclorito” (1).

Escherichia Coli: “bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la b galactosidasa y b glucoronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano” (1).

TRATAMIENTO O POTABILIZACIÓN: “es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano” (1).

VALOR ACEPTABLE: “es el establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud” (1).

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales en la existencia de los seres vivos, con alto impacto en la salud de las personas de ahí la importancia de cumplir con los criterios de calidad que en la actualidad requieren de un número alto de parámetros analíticos, en especial en caso del agua para consumo humano, por consiguiente, se hace necesario el estudio de los factores que afectan la calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander campus Cúcuta. El estudio realizado es de enfoque cuantitativo, de nivel de descriptivo y diseño de campo se desarrolló mediante la recolección de muestras de agua en cinco momentos y en seis puntos de recolección: (a) tanque administrativo; (b) filtro administrativo; (c) tanque Arhuaco; (d) Tanque Chitarero; (e) filtro Chitarero; y (f) laboratorio biotecnología y calidad e inocuidad alimentaria. La metodología se desarrolló en cinco fases una fase inicial de preparación en la que se identificaron los diferentes microorganismos que afectan la calidad del agua mediante métodos de análisis microbiológicos y fisicoquímicos en las diferentes muestras de agua, en la fase descriptiva se prepararon los diferentes caldos de cultivo, los aislamientos y toma de las muestras, en la tercera fase los resultados de los análisis se compararon con la resolución 2115 de 2007 y en la fase de cierre se corroboró la hipótesis de investigación. El informe final de la investigación se estructuró en cinco capítulos: el primer capítulo se describe el problema de la investigación, se plantea la pregunta de investigación, los objetivos y la justificación del estudio; el segundo capítulo se desarrolla el marco referencial conformado por los antecedentes, y marco teórico, conceptual, legal, contextual, sistema de hipótesis y operacionalización de variables; el tercer capítulo es el marco metodológico, conformado por el tipo de investigación, métodos e instrumentos; el cuarto capítulo análisis e interpretación de resultados se desglosa el resultado de cada variable y la discusión y el quinto capítulo conclusiones y recomendaciones.

1. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La definición de aguas potables determina que esta cualidad ocurre cuando el agua es adecuada para el consumo humano o los diversos usos domésticos habituales, como la higiene personal, y está libre de microorganismos que causen alguna enfermedad (2)

Las bacterias, parásitos, virus y hongos que se encuentran en las aguas o su incremento suelen producirse directamente o de manera indirecta por el cambio que ocurra en el entorno o en las poblaciones del contexto, como es el caso de las instituciones educativas, urbanizaciones, crecimiento poblacional o de la industria, el uso de residuo sólidos o líquidos. Las actividades humanas impactan directamente el ambiente y, en consecuencia, también a los recursos hídricos (3)

Entre los factores que generalmente inciden en la contaminación de las aguas son el uso inadecuado de las aguas residuales, de los residuos sólidos y líquidos, las actividad agrícola y pecuaria, caracterizada por la continua movilidad de los animales, uso del abono orgánico mal procesado que terminan afectando la calidad microbiológica de las diferentes fuentes hídricas (4)

Otro factor que afecta la calidad de las aguas son las deficiencias en garantizar su seguridad, este hecho hace que la población quede expuesta a los riesgos de adquisición de algunas patologías asociadas con el consumo de agua. Controlar esta situación reducirá los riesgos y por consiguiente la adquisición de enfermedades causadas por el consumo de aguas sin calidad microbiológica (3) . En este sentido es necesario una efectiva vigilancia y control del recurso hídrico destinado al consumo humano definido como la “evaluación y examen, de forma continua y vigilante, desde el punto de vista de la Salud Pública, de la inocuidad y aceptabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua de consumo” (2)

En la actualidad existen otros contaminantes del agua que se denominan contaminantes emergentes, entendidos como los compuestos con diversos orígenes y diferentes características químicas, su representación en el medio ambiente no tienen una presencia significativa en lo que respecta a su distribución o las concentraciones en que se encuentra, esta cualidad permite que pasen sin ser advertidos en algunas ocasiones; sin embargo, actualmente se detectan y se reconoce su capacidad para ocasionar un alto impacto ecológico, y también por las consecuencias adversas para la salud de las personas (5).

Entre las vías y fuentes mediante las cuáles los contaminantes emergentes (CE) ingresan al ambiente se señalan las aguas residuales, tanto de origen familiar como los provenientes de la industria, plantas de tratamiento de aguas, el efluente hospitalario, las actividades agropecuarias, el tanque séptico, estos tienen un alto número de contaminantes que se generan en diversos niveles de concentración del agua superficial, que aún permanecen sin precisarse los criterios de calidad ambiental, en cuanto a las plantas de tratamiento convencional de agua residual éstas no tienen la capacidad para eliminar los CE, lo que constituye un problema para la comunidad científica y para las autoridades ambientales (6) (5).

La calidad del agua para consumo humano es un factor determinante en las condiciones de la salud de las poblaciones, sus características pueden favorecer tanto la prevención como la transmisión de agentes que causan enfermedades, tales como: enfermedad diarreica aguda (EDA), hepatitis A, polio y parasitosis por protozoarios y helmintos; entre estas, amebiasis, giardiasis, cryptosporidiasis y helmintiasis. La diferencia entre prevenir o transmitir este tipo de enfermedades de origen hídrico depende de varios factores, los principales son: la calidad y la continuidad del servicio de suministro de agua (7)

Dado el impacto de la calidad del agua en la salud de la población se hace de importancia capital la vigilancia y el control de la calidad de las aguas

destinadas para el consumo humano de manera sistematizada que permita generar información que contribuya a la toma de decisiones para mejorar la calidad y reducir los riesgos de adquisición de enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada (7).

La calidad del agua, se caracteriza por su composición física, química y microbiológica basado en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables. Lo cual debe estar exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores. También estar exenta de sustancias que le comuniquen sensaciones desagradables para el consumo (color, turbidez, olor, sabor). Asegurando de esta manera un suministro de agua limpia y saludable de este modo proteger a salud de las personas (8)

Entre la magnitud del problema es pertinente señalar que el cuatro por ciento (4%) de la totalidad de las muertes a nivel mundial son consecuencia de problemas asociados con las aguas, desagües e higiene. La gran mayoría del agua superficial presentan niveles de contaminación que requieren evaluarse y buscar soluciones en los procesos de tratamiento y desinfección de las aguas dirigidas al consumo humano (9).

Colombia no escapa a este problema que afecta al mundo y para su vigilancia conformó el sistema de protección y control de la calidad del agua destinada al consumo humano, mediante el decreto 1575 de 2007. La clasificación del Índice de Categoría de Riesgo para la Calidad del Agua (IRCA) establece como parámetros de calidad los intervalos siguientes: entre 0 a 5 %, sin riesgo; entre 5,1 a 14%, riesgo bajo; entre 14,1 a 35%, riesgo medio; entre 35,1 a 80%, riesgo alto; de 80,1 a 100%, inviable (7).

En el período 2008-2012 el índice en 211.407 muestras valoradas, determinó que el 57,7 % no presentaron riesgo; el 1,5 % fue de riesgo bajo; el 22,4 % fue de riesgo medio; y aproximadamente el 30 % de las muestras estaban en un nivel crítico (un 22,4 % en riesgo alto y un 7,8 % inviable) lo que conlleva al incremento de probabilidades de adquisición de enfermedades que se transmiten por el consumo de agua (10).

El referido índice de riesgo de calidad del agua general también reveló valores entre 22,1 y 27,3 %, es decir, un nivel de riesgo medio que, conforme a la clasificación establecida, comprende el rango entre 14,1 y 35 %. Al final del periodo de estudio, se observó un aumento en este índice, que pasó de 23,8 a 27,3 %, evidenciando un deterioro de la calidad del agua, aunque se mantuvo el mismo nivel de riesgo. En la zona urbana la calidad del agua distribuida fue mejor, con valores entre 11,5 y 16,7 %, es decir, niveles correspondientes a bajo y medio; en la zona rural, los valores se ubicaron en el nivel de riesgo alto, entre 47,8 y 49,7 %. En la zona rural se vio un aumento de los valores del índice de riesgo, lo que denotó un deterioro de la calidad del agua (10).

El IRCA nacional para el año 2017 fue de 20,5 determinó un nivel de riesgo medio para el país durante este año. El país se ha mantenido desde el 2007 en un nivel de riesgo medio, con algunas variaciones en los valores del IRCA. En las zonas urbanas fue de 7,4 es un riesgo bajo y en las zonas rurales fue de 31,1 es un riesgo medio. Existen una tendencia histórica que en las zonas urbanas existe una mejor calidad del agua que en las zonas rurales, el Norte de Santander presenta un nivel de riesgo medio (11).

En el caso de la Universidad de Santander Campus Cúcuta en el año 2018 se analizó la calidad microbiológica del agua de consumo humano, a tal fin se realizaron cinco (5) muestreos del agua de la institución para su análisis microbiológico mediante las técnicas la técnica de filtración por membrana (aerobios mesófilos, coliformes totales y coliformes fecales) y el método NMP (para *Pseudomonas aeruginosa*), también se aplicaron otras pruebas complementarias para determinar el cloro residual, la medición del pH y temperatura. Los resultados determinaron que el nivel de calidad del agua es de mala calidad con una carga microbiana promedio del cincuenta y ocho por ciento (58%) de Aerobios Mesofilos, sobrepasando las 100 UFC/100 mL, setenta por ciento (70%) de Coliformes Totales y veinticuatro por ciento (24%) de Coliformes Fecales, y *Pseudomonas aeruginosa* en un veinte por ciento 20% en un total de las 50 muestras de agua. Igualmente, los parámetros

fisicoquímicos determinaron que la temperatura se ubicó dentro del rango permisible, el pH fue alcalino para el cien por ciento (100%) de las muestras y en un 2% se observó cloro residual (12). En consecuencia, es necesario realizar una nueva valoración de la calidad de las aguas para determinar los actuales niveles de calidad y generar la información que permita la toma de decisiones para elevar los indicadores de calidad del agua de consumo humano en la UDES campus Cúcuta.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los factores que afectan la calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-A?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Se establece el siguiente:

Analizar los factores que afectan la calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-A.

1.3.2 Objetivos Específicos. Se desglosan los siguientes:

- Identificar los factores que afectan la calidad microbiológica del agua, mediante revisión del cloro, temperatura y pH in situ.
- Determinar el nivel de calidad microbiológica mediante métodos estandarizados de laboratorio.
- Establecer el índice de riesgo de calidad del agua mediante aplicación de procedimientos estadísticos.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El agua constituye un elemento fundamental para el desarrollo del ser humano de su uso adecuado beneficia la salud, la alimentación y también es fundamental en la producción agropecuaria. Uno de los problemas que presentan en el uso de aguas contaminadas relacionadas directamente con la transmisión de algunas enfermedades como el cólera, la gastroenteritis, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea, la poliomielitis, entre otras. Entre los factores que afectan la calidad de las aguas está el inadecuado mantenimiento de los tanques de almacenamiento de aguas y los puntos de hidratación para su consumo, esta deficiencia contribuye al crecimiento de los mencionados microorganismos (4).

PERTINENCIA: se hace necesario realizar el estudio de la calidad del agua en la Universidad de Santander por el uso y consumo habitual que realizan los estudiantes, docentes, personal administrativo y directivo de la institución para el desarrollo de las actividades con fines educativos propias de la universidad, teniendo en cuenta que existe un riesgo potencial de la contaminación de las aguas y su utilización y consumo por parte de la comunidad universitaria existe la posibilidad de exposición a un riesgo que pueda ocasionar un daño a la salud y por consiguiente es necesario evaluar la calidad del agua para establecer su grado óptimo para el consumo humano.

ARTICULACIÓN: el estudio está articulado con la línea de investigación en calidad e inocuidad alimentaria del Grupo de Investigación Orugas, y con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Sistema de Monitoreo del Medio Ambiente Mundial.

INTERÉS DE LOS INVESTIGADORES: en la línea de formación del Bacteriólogo y Laboratorista Clínico nos ha interesado de manera particular el área de seguridad alimentaria, teniendo en cuenta su relevancia para la salud y el desarrollo y por consiguiente su calidad e inocuidad es un factor esencial a estudiar y obtener resultados que contribuyan a la calidad del agua para el uso y consumo humano. El interés esperado con este proyecto, fue el

reconocer los factores fisicoquímicos que serán medidos *in situ* y las características microbiológicas, y de esta manera el aporte no será solo de los datos, también se centrará en el seguimiento y verificación de estos microorganismos antes mencionados.

BENEFICIARIOS: de manera directa la comunidad universitaria y la Universidad de Santander campus Cúcuta.

APORTES DE LA INVESTIGACIÓN: con los resultados del estudio se conocerá el nivel de calidad del agua utilizada en la universidad, así como determinar los factores fisicoquímicos y microbiológicos que afectan la calidad y como aporte práctico se diseñará las estrategias de control y mantenimiento más relevantes para el monitoreo de la calidad del agua en la universidad.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Internacionales

En el 2019, Piguave, Castellano, González, Macía, Vite, Ponce, y Avila (13) realizaron un estudio denominado el agua de consumo humano y su calidad son determinantes para la salud pública, mediante una revisión sistémica con el propósito de analizar la relación entre la enfermedad diarreica en niños menores de cinco años y la contaminación de las fuentes de aguas subterráneas. A tal fin realizaron consultas en cinco bases de datos: PubMed, Science Direct, Springer Link, SciELO y Google Scholar, se tomaron en cuenta publicaciones científicas desde el año 1991 hasta junio del 2018; utilizando como descriptores en la indagación los siguientes términos: agua subterránea, diarrea, enfermedad gastrointestinal infantil, contaminación microbiana, calidad del agua, diarrea infantil, agua potable, técnicas moleculares y técnicas bioquímicas, se analizaron un total de ciento sesenta y nueve artículos. Los resultados permitieron determinar que existe relación entre la contaminación microbiana de las aguas subterráneas y la diarrea infantil. Las aguas subterráneas se contaminan debido a las fugas de fosas sépticas, métodos inadecuados de manejo de desechos y escorrentías de aguas de lluvia, determinando la prevalencia de diarrea infantil. Por tanto, es importante monitorear la calidad del agua como factor de riesgo, con la detección y cuantificación de bioindicadores, mediante métodos rutinarios y novedosos, e incorporar intervenciones dirigidas a mejorar la accesibilidad a fuentes de agua controladas y la educación sanitaria en la búsqueda de asegurar la protección del agua y la disminución en la prevalencia de la diarrea infantil.

En el 2019 Cisneros (14) realizó un estudio en Lima Perú, denominado evaluación de la calidad del agua para consumo humano en Comas (Lima), Quispicanchi (Cusco) y Coronel Portillo (Ucayali), con el propósito de evaluar la calidad del agua con base en el Reglamento de la Calidad del Agua para el Consumo humano (D.S. N° 031-2010-SA). Las 48 muestras se recolectaron en tres provincias del Perú: Comas (Lima), representando a la zona costa, obteniendo muestras de las urbanizaciones: Chara Cerro, Collique, El Carmen y Santa Luzmila; Quispicanchi (Cusco) a la zona sierra obteniendo muestras de: Cusipata, Ocongate, Oropesa y Urcos; y a la selva la provincia de Coronel Portillo (Ucayali), obteniendo muestras de los siguientes distritos: Callería, Campoverde, Masisea y Yarinacocha. El análisis se desarrolló en el laboratorio Baltic Control CMA S.A. ubicado en Lurín, Lima. El análisis para los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos fueron desarrollados según el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. La identificación de parásitos se realizó mediante la técnica de sedimentación con centrifuga. La identificación de *Pseudomonas aeruginosa* se realizó mediante un método no normalizado. Los resultados determinaron que los parámetros microbiológicos no superaron los límites máximos permisibles en Comas, mientras que en Quispicanchi y Coronel Portillo si superaron los límites. Se halló presencia de *Pseudomonas aeruginosa* en Comas, Quispicanchi y Coronel Portillo, esto indica una mala limpieza y desinfección del sistema de agua. Se encontró presencia de larvas de nemátodos en Quispicanchi y Coronel Portillo, el pH, turbiedad y color fueron aceptables en Comas, Quispicanchi y Coronel Portillo, sin embargo, el cloro libre solo fue aceptable en Comas. En el estudio se concluye que el agua de consumo humano es apta en Comas para todos los parámetros, pero no en Quispicanchi ni Coronel Portillo particularmente en el parámetro microbiológico. Esto puede ser al tipo de distribución de agua, pues en Comas se distribuye mediante redes de agua, a diferencia de Quispicanchi y Coronel Portillo que se abastecen de agua subterránea y superficial.

En el 2018, Sánchez (15) realizó un estudio en Viña del Mar en Chile con el objetivo de caracterizar aguas residuales, provenientes de las instalaciones de la Universidad Técnica Federico Santa María a tal fin realizó un estudio descriptivo con diseño de campo. En Chile la norma que regula la reutilización de las aguas grises es la Ley N°21.075 del 2018, estableciendo que solo son estas las únicas que se pueden reutilizar, excluyendo de este modo la posibilidad de reutilizar las aguas negras, no obstante, el estudio también se fundamentó en la Ley N°1.333 la cual define la calidad que debe cumplir un cuerpo de agua para diferentes usos. Los resultados obtenidos determinaron que las muestras presentaban olores desagradables, que es un indicador de sulfuros por descomposición anaeróbica de la materia orgánica existente. Los colores en el mayor número de muestras eran opacos, en las muestras de mecánica se observó un color gris oscuro, que es un indicador de presencia de sustancias extrañas disueltas o en suspensión. Se identificó la existencia de alta presencia de sólidos totales en cuatro muestras analizadas lo que indica una elevada concentración de materia orgánica e inorgánica. La conductividad de las muestras observadas esta se por debajo de los parámetros establecidos en la norma y el pH de todas las muestras cumple con parámetros establecidos por la norma. La demanda biológica de oxígeno en cinco días (DBO5) en las muestras es muy alta, destacan por su volumen las muestras del casino que está por encima de los niveles industriales, lo que puede generar una gran cantidad de materia en descomposición y con ello malos olores. También se observó la presencia de coliformes en todas las muestras por consiguiente se consideran aguas negras, con consecuencias negativa para la salud de las personas. La cantidad de metales observados en las muestras estan por debajo de la norma. Se concluyó que es posible reutilizar el agua residual en el regadío de las dependencias de la Universidad con lo que se reduciría un mínimo del 20% el consumo de agua total.

En el 2018 Quinteros y Mejía (16) realizaron un estudio en el Salvador denominado Calidad microbiológica de agua envasada, con el propósito de

evaluar la calidad microbiológica del agua envasada comercializada en El Salvador, en base a la normativa nacional. A tal fin diseñaron una investigación de nivel descriptivo de diseño documental que consistió en el análisis secundario de una base de datos con mil quinientos cincuenta y cuatro (1544), correspondientes a cincuenta y una (51) marcas y cuarenta y nueve (49) empresas, las muestras se levantaron del monitoreo de la calidad microbiológica del agua envasada comercializada en todo el Salvador. Se realizó una revisión de control de calidad de la base de datos con el fin de identificar duplicidad, inconsistencia, digitación doble o digitación incompleta. No se identificaron anomalías en la base de datos. Las muestras se recolectaron en el lapso comprendido entre el 2014 y 2015 por los inspectores de saneamiento ambiental del Ministerio de Salud. Las muestras fueron transportadas en temperatura ambiente hacia el Laboratorio Nacional, donde se les realizó los análisis microbiológicos de coliformes fecales, coliformes totales, *Escherichia coli*, bacterias heterótrofas mesófilas y organismos patógenos. Los datos fueron analizados a través del programa Statistical Package for the Social Sciences, versión 24. Los resultados de las muestras fueron comparados con la norma salvadoreña obligatoria NSO 13.07.02:08. Entre los resultados más relevantes del estudio destacan que el 99.7% de las muestras están bajo el límite máximo permisible (<1.1 NMP/100ml) para coliformes totales. El 100% de las muestras resultaron negativas a coliformes fecales y *Escherichia coli*. Los resultados del conteo de bacterias heterótrofas, aerobias y mesófilas reflejan que el 97.4% de las muestras están dentro del límite máximo permisible. En el estudio se concluyó que el agua envasada comercializada en El Salvador cumple con la normativa salvadoreña para la calidad del agua envasada en lo que respecta a los niveles de microorganismos. No obstante, existen marcas que presentan contaminación por microorganismos, la contaminación más alta es causada por *P. aeruginosa*.

En el 2014 Méndez, Pacheco, Castillo, Cabrera, Vázquez, y Cabañas (17) realizaron un estudio en el estado de Yucatán, México con el propósito de

establecer la calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en la jurisdicción de Yucatán, donde el suministro de agua potable proviene de un acuífero no confinado, en el cual se observa un alto grado de vulnerabilidad a la contaminación a causa de las características del sustrato geológico peninsular. A tal fin se diseñó un estudio de nivel correlacional y diseño de campo, los sitios de muestreo corresponden a cada una de las zonas de abastecimiento de las cabeceras municipales del Yucatán. Ciento seis (106) muestras se colectaron de manera directa de los pozos de abastecimiento de las plantas potabilizadoras, luego de 2 minutos de bombeo y antes de ser sometidas a cloración. Para la toma de muestras, se sometió a esterilización la zona de muestreo, con ayuda de un mechero y se recolectó un volumen de dos (2) litros en recipientes de cristal previamente esterilizados. Los pozos muestreados tenían niveles estáticos de entre menos de quince (15) m en las zonas costeras, a cincuenta (50) m en el cono sur. La actividad de muestreo se realizó de julio de 2007 a febrero de 2008. Tomando en cuenta que entre los principales indicadores de la calidad del agua potable se encuentran los microbiológicos, de gran importancia por su potencial impacto en la salud humana. En la investigación se evaluó la calidad microbiológica del agua subterránea en ciento seis (106) pozos de abastecimiento del sistema de agua potable del estado, determinando la concentración de bacterias coliformes y enterococos, y se identificó si el principal origen de la contaminación biológica es por heces humanas o animales. Los resultados determinaron que en el 83.1% de los pozos muestreados, los coliformes totales o fecales excedieron los límites permisibles señalados en la NOM-127-SSA1-1994; el 84.9% de las muestras tuvieron contaminación fecal; en el 34% de los pozos muestreados. Se concluyó que la contaminación fecal puede asociarse con un origen animal y en el 50% con un origen humano.

En el 2012 Valenzuela, Godoy, Almonacid, y Barrientos (18) realizaron un estudio en Chile denominado Calidad microbiológica del agua de un área agrícola-ganadera del centro sur de Chile y su posible implicancia en la salud

humana, con el propósito de determinar la calidad microbiológica del agua de las tierras agrícolas para la producción ganadera en la provincia de Valdivia (40 ° S), Chile y su potencial impacto en la salud humana. A tal fin se diseñó un estudio de nivel correlacional y diseño de campo. La recolección de muestras de agua se realizó mensualmente (julio de 2008 a junio de 2009), en cada uno de cinco puntos de muestreo por triplicado (en total 15 muestras de agua/mes). Dos de los puntos de muestreo corresponden a agua superficial, colectadas al inicio (39° 35' 1,7 '' S - 73° 04' 22,1'' O) y final (39° 35' 47,5'' S - 73° 05' 13,6'' O) de un estero que atraviesa el predio, el estero mide de ancho en su inicio 1,8 m y en su final 6 m. Los restantes puntos de muestreo corresponden a agua subterránea extraída de pozos. Se tomaron muestras de agua a la entrada y salida de un chorro de agua que atraviesa el campo y en el pozo agua utilizada para consumo humano y animal. A cada una de las muestras de agua se le determinó la presencia de Ct y *E. coli* de acuerdo al método confirmativo de determinación simultánea de Ct y *E. coli* Quanti-Tray. De la muestra de agua, se vertieron 100 mL en un matraz estéril de 250 mL, posteriormente se adicionó el contenido del medio de cultivo Quanti-Tray. El matraz se agitó hasta que el contenido se disolvió por completo. A continuación, el contenido del matraz se depositó en un dispositivo Colilert Quanti-Tray estéril, el cual consta de 98 celdas, (49 grandes y 49 pequeñas). El dispositivo fue sellado herméticamente en una selladora térmica a 50°C. Los dispositivos sellados fueron incubados a 35°C. Los resultados de la investigación determinaron que, en muestras de agua de arroyos y pozos, el número más probable de Tc y *E. coli* superó la Norma Chilena de Calidad de Agua (NCh 409/1) para consumo humano. Concluyeron los investigadores en la necesidad de regular el impacto ambiental de la producción agropecuaria y de monitorear el agua potable para cumplir con los estándares mínimos de protección de la salud.

2.1.2 Nacionales

En el 2017 Goenaga y Martínez (19) realizaron un estudio en Barranquilla con el propósito de Analizar la Calidad de Agua para consumo humano en el corregimiento de la Peña-Atlántico y determinación del riesgo potencial para la Salud Humana. A tal fin se diseñó un estudio a nivel descriptivo y diseño de campo y se desarrolló en el corregimiento de la Peña en Sabanalarga-Atlántico, en donde una gran parte del agua para consumo humano proviene al agua subterránea, tomando como referencia los parámetros de la resolución 2115 de 2007. El muestreo Se realizó en tres (3) campañas de muestreo y se tomaron ocho (8) muestras por campaña para un total de veinticuatro (24) muestras y catorce (14) parámetros analizados, el primer muestreo se realizó en el sector de loma fresca el cual permitió obtener un diagnóstico inicial de la calidad del agua que consumen los habitantes del corregimiento, los otros dos muestreos se realizaron en los sectores de campo centro, plaza, para las tres (3) campañas se consideraron los puntos más representativos como el Pozo, Tanque de almacenamiento y el colegio. Luego se realizaron los análisis de laboratorio mediante parámetros físico-químicos tales como pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad, alcalinidad, dureza total, color, fosfatos, sulfatos, cloruros, nitratos, nitritos y los microbiológicos como Coliformes Totales y Coliformes Fecales, para determinar su calidad y el riesgo potencial a los que se expone la población mediante el cálculo del Índice de riesgo de calidad de agua (IRCA). Para el análisis de cada uno de los parámetros se utilizó el Standard Methods for the examination of wáter and wastewater, para la representación de la información obtenida de cada uno de los parámetros analizados y la tabulación de las encuestas se utilizó el programa Microsoft office Excel 2007, finalmente para la representación IRCA se utilizó el programa Surfer versión 11. Los resultados mostraron que la calidad del agua se ve afectada por contaminación biológica con Coliformes totales y Coliformes fecales y por parámetros por fuera del nivel permisible como la alcalinidad, oxígeno disuelto según los rangos establecidos por la

normatividad, concluyeron que el agua del corregimiento no es apta para el consumo humano porque representa un nivel de riesgo alto.

En el 2016 Acevedo, Durán, y Betancur (20) realizaron un estudio en la región del eje cafetero de Colombia denominado calidad microbiológica del agua en dos instituciones de salud del eje cafetero, con el propósito de analizar la calidad microbiológica del agua de los servicios de hospitalización, Unidad de cuidados intensivos y Cirugía pre y pos desinfección de grifos de dos instituciones de salud del Eje Cafetero durante el tercer trimestre del 2015. A tal fin diseñaron un estudio de nivel descriptivo observacional, transversal y diseño de campo. La muestra seleccionada fue de dos (2) instituciones de salud de III y IV nivel de atención del eje cafetero, las cuales se eligieron a conveniencia por representar menor dificultad para la aprobación de ingreso y toma de muestras debido a investigaciones anteriores. Los materiales utilizados para la toma de las muestras fueron frascos de vidrio neutro con una capacidad mínima de 250 ml, poseen un tapón esmerilado o roscado, muy limpio y esterilizado en autoclave a 120°C durante treinta minutos. El tapón y el cuello del frasco se protegieron con una cubierta de papel de aluminio u otro similar. Se tomaron muestras de agua de tres puntos críticos como son área de quirófanos, hospitalización y unidad de cuidados intensivos. Se realizó una toma de muestras antes de realizar la desinfección del grifo, y otra después de la desinfección para de esta manera determinar si el filtro instalado en los grifos influía en los resultados microbiológicos, las muestras se analizaron por filtración por membrana. Resultados: se encontró que en una de las instituciones existen gran presencia de mohos y levaduras, aerobios mesófilos, en concentraciones mayores e inviables sanitariamente antes de realizar desinfección del grifo. Y con presencia en menor concentración pos-desinfección posiblemente debido a la ausencia de desinfección de grifos y almacenamiento en tanques. En la segunda institución no se presentaron recuentos significativos de microorganismos. Los investigadores concluyeron que una de las instituciones cuenta con agua inviablemente sanitaria en uno de sus puntos críticos, debido a la alta presencia de Mohos y Levaduras, y

aerobios mesófilos, el cual imposibilita su consumo según el decreto 2115 de 2007, y normas internacionales.

En el 2014 Venegas, Mercado, Campos (21) realizaron un estudio en Bogotá denominado evaluación de la calidad microbiológica del agua para consumo y del agua residual en una población de Bogotá, atendiendo al hecho que el acceso al agua potable y a sistemas de saneamiento no están garantizados para buena parte de la población, por lo que existe el riesgo de consumo de agua contaminada. La forma más común para acceder al agua potable es el almacenamiento dentro de las viviendas y la improvisación de sistemas de alcantarillado que generalmente se encuentran a cielo abierto frente a esta problemática los investigadores establecieron como propósito de su estudio evaluar la calidad microbiológica del agua utilizada para consumo y el agua residual cercana a las viviendas de una población en desplazamiento y su relación con la salud de la población. A tal fin diseñaron una investigación de nivel correlacional y diseño de campo, recolectaron 36 muestras de agua para consumo almacenadas en diferentes tipos de recipientes y de grifos, en caso de estar instalados. Adicionalmente se recolectaron quince (15) muestras de agua residual de forma aleatoria en un asentamiento ilegal compuesto en su gran mayoría por población desplazada. Para evaluar la calidad microbiológica del agua se analizaron como indicadores de contaminación de origen fecal *E. coli*, *C. perfringens* y colífagos somáticos. Simultáneamente se llevó a cabo la aplicación de encuestas de morbilidad sentida con el fin de establecer la posible relación entre las condiciones de vida de los habitantes, la calidad del agua y la percepción del estado de salud. Los resultados determinaron que en catorce (14) de las treinta y seis (36) casas seleccionadas y en las quince (15) de redes de alcantarillado a cielo abierto, se encontró contaminación de origen fecal. La encuesta de morbilidad reveló cómo la calidad del agua y las condiciones de vida pueden influir en la salud de la población. Concluyen los investigadores que la contaminación observada representa riesgo sanitario para la población debido a la presencia de microorganismos causantes de enfermedades de origen hídrico.

En el 2011 Moscarella, García, y Palacio (22) realizaron un estudio denominado Calidad Microbiológica del Agua de la Bahía de Santa Marta, Colombia con el propósito de evaluar la calidad bacteriológica del agua en la zona costera de Santa Marta. A tal fin desarrollaron un estudio de nivel correlacional y diseño de campo. Las muestras se tomaron en intervalos bimestrales en las estaciones de playas, desembocadura de ríos y en la superficie de la descarga del emisario, se recogieron directamente a 30 cm de la superficie del agua. A profundidad media y en el fondo de la estación en la descarga del emisario se usó un muestreador horizontal tipo Van Dorn. El punto de muestreo en todas las estaciones excepto en la descarga del emisario se ubicó en zonas donde la profundidad fue de un (1) metro. La toma de muestras se llevó a cabo a las 11 a.m. Las muestras de agua obtenidas se almacenaron para su transporte a 4 °C y se trasladaron al laboratorio donde fueron procesadas antes de 24 horas. Todas las muestras fueron analizadas en laboratorio por medio del recuento indirecto por tubos múltiples de fermentación expresado en el número más probable (NMP) en 100ml de agua siguiendo las recomendaciones de los métodos estándar. Igualmente se realizaron los análisis estadísticos para detectar la correlación entre la concentración de coliformes fecales en el sitio de la descarga del emisario submarino y la calidad del agua en las bahías de Taganga, Santa Marta y el Rodadero y la relación entre condiciones estacionales y niveles de contaminación también fueron examinadas. Los resultados determinan un nivel de contaminación microbiológica alta en la bahía de Santa Marta La descarga del emisario submarino mostró una correlación positiva relativamente buena con las estaciones de playas en Santa Marta (0,4595) y Taganga (0,5747), mientras que para Playa Grande y el Rodadero la correlación medida por rangos de Spearman fue negativa. Concluyen los investigadores que descargan las aguas residuales existe estratificación vertical que en ocasiones rompe por efectos de los fuertes vientos entre otros factores, haciendo que la pluma de agua residual aflore a la superficie afectando la calidad del agua.

2.1.3 Locales

En el 2018 Reyes (23) realizó un estudio en Cúcuta denominado Factores Bióticos de la Contaminación del Agua de Consumo Humano en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2018 B, con el propósito de evaluar los factores bióticos de la contaminación del agua de consumo humano. A tal fin se realizó un estudio de nivel descriptivo y diseño de campo. Los sitios muestreados fueron los puntos de almacenamiento y salida de agua de la universidad de Santander en el campus Cúcuta, específicamente los filtros de auditorio Andrés Entrena, tanque administrativo, grifo de cafetería, filtro de laboratorios, tanque Chitareros, filtro de bloque C medina y tanque de almacenamiento Arhuaco; para el procesamiento de las muestras se preparó medios de agar Plate count, agar Chromocuth, agar Cetrimide, caldo Asparagina previamente todos los materiales a trabajar inicialmente estéril. Igualmente se realizó la medición de pH con rangos de -2.0 a 16.0 pH; temperatura con rangos de -5.0 a 60.0°C / de 23.0 a 140.0°F y cloro residual con lecturas de 0.0 a 3.5 mg/L. Los métodos del procesamiento de muestras utilizados son la filtración por membrana y número más probable (NMP) para *Pseudomonas aeruginosa*. Los resultados determinaron que existen factores bióticos que afectan la calidad e inocuidad del agua de la Universidad de Santander, en tres tanques de almacenamiento, tres filtros y del grifo de la cafetería central, el nivel de cloro encontrado en el agua de los diferentes puntos es muy bajo casi nulo, cumple con la normativa. La temperatura puede aumentar o disminuir el contenido bacteriano se encontró dentro del rango permisible. El pH se halló dentro de los parámetros admisibles. En el estudio se concluyó que en el semestre A del 2018, el 100% de las muestras exceden el parámetro establecido por la normativa para aerobios mesofilos máximo 100 ufc/ 100 ml, y en el semestre 2018 B, se mantiene este nivel de contaminación.

En el 2016 Miranda, Ramírez, y Angarita (24) realizaron un estudio en el Río Algodonal en el tramo comprendido el municipio de Abrego y Ocaña con el propósito de evaluar la calidad microbiológica de las aguas del mencionado río a tal diseñaron un estudio de nivel explicativo y diseño experimental para tal fin se tomaron las muestras en cinco (5) puntos de control y aforo a lo extenso del cauce principal, cuya selección se basó en a la metodología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) utilizada para establecer la calidad de las aguas de las fuentes superficiales. En el mencionado estudio se determinó la densidad de bacterias en las muestras de agua de la mencionada fuente hídrica para precisar la calidad sanitaria del agua cruda destinada para consumo humano. Con este fin, se realizó un muestreo trimestral a partir del mes de marzo del año 2016 por un lapso de siete (7) meses, conforme a lo contemplado en el acuerdo al procedimiento establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), el Instituto Nacional de Salud (INS), que estandarizan los procedimientos para la evaluación de variables en cuerpos lóticos de agua dulce. El procedimiento utilizado para el levantamiento de los datos contempló la selección de un subgrupo de muestras aleatorias o de las aguas en cinco (5) estaciones de control y aforo (E), como criterio de selección se tomaba en cuenta la ubicación de los puntos a distancias aleatorias en el gradiente del río algodonal en la temporada estacional de mayor lluvia y menor lluvia típica de la región. Los resultados obtenidos se evaluaron con base a los parámetros nacionales e internacionales de calidad las aguas establecidas en el Decreto N°1594 de 1984, la OMS, 1996 y la resolución 2115 de 200. En los muestreos físicos y microbiológicos se levantaron muestras simples y puntuales para evaluar las Coliformes fecales y *E. coli*. Los resultados presentan una tendencia de agrupación del veinticinco por ciento (25%), del cincuenta por ciento (50%) y del setenta y cinco por ciento (75%) de los datos para interpretar la desviación de los datos, concluyéndose que los niveles de presencia de Coliformes fecales y *E coli*., están por debajo de los valores máximos permitidos por la norma, en consecuencia, las aguas del río Algodonal no presentan

contaminación o alteraciones de la calidad microbiológica. Por consiguiente, estas aguas están aptas para consumo humano una vez sean sometidas a un tratamiento de potabilización.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Fundamentos Teóricos del Agua y Seguridad Alimentaria. El agua es un compuesto de características únicas, con propiedades únicas que la hacen fundamental para la vida, el de mayor abundancia en la naturaleza y fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos que rigen el medio natural; ocupa en un promedio mayor del 70 % de las superficies en el planeta, está en los océanos, lagos, ríos, también en el aire, y en los suelos (25) (26). El agua constituye la fuente y sostén de la vida, es fundamental en la regulación del clima en el planeta y con una fuerza capaz de modelar la Tierra. Es un material con alta flexibilidad, es un solvente útil, un reactivo fundamental en diversos procesos metabólicos; con alta capacidad calorífica y de expandirse al congelarse. La molécula de agua es el resultado de la composición de un átomo de oxígeno con dos de hidrógeno; molécula que aparentemente pareciera ser simple, no obstante, tiene propiedades extraordinarias que constituyen el fundamento de la vida. El agua se resume en una fórmula sencilla: H_2O , que representa la característica más general en las grandes masas de agua que cubren el 71% de la superficie de la tierra y conforma la hidrosfera. El movimiento de las aguas modela el paisaje y afecta el clima (25) (26).

Las aguas en el planeta están en el océano con casi el 97,5 %. Solo el 2,5% es agua dulce. Los glaciares, la nieve y el hielo de los cascos polares constituyen el 80% del agua dulce, el agua subterránea el 19% y el agua de superficies accesibles de manera rápida el 1%. Este bajo porcentaje de cantidad de agua de superficie con fácil acceso, está esencialmente en los en un 52% y humedales en un 38% (26). (Ver cuadro 1).

Tabla 1. Distribución de las Aguas.

Agua del Planeta y %	Categorías y %	Superficie	Lugares
Océano= 97.5			
Agua Dulce:2,5%	Glaciares, nieves y hielo de los cascos polares:80%		
	Agua Accesible de superficie:1%	Agua Subterránea: 19%	Lagos: 52%
			Humedales: 38%
			Ríos y vapor atmosférico: 10%

Fuente: Adaptado de Fernández Cirelli A. El agua: un recurso esencial. 2012.

El agua es un recurso renovable finito, al año aproximadamente se evaporan 505.000 km³ de agua de los océanos. No obstante, una gran parte retorna a los océanos mediante las precipitaciones, pero no se puede ser utilizada como recurso de agua dulce. Las precipitaciones anuales sobre tierra firme se estiman en 120.000 km³. Estos movimientos masivos del agua, fundamentalmente generado por la energía del sol es lo que se denomina como ciclo hidrológico, es un proceso que incluye la precipitación, el escurrimiento, la evapotranspiración y la infiltración (26)

En cuanto a la seguridad alimentaria se le considera determinante para la seguridad alimentaria y para una buena nutrición (SAN). Es la linfa esencial de cada ecosistema, incluyendo los bosques, lagos y humedales, fuentes fundamentales en la SAN de las de la generación actual y futura. Es necesario contar con aguas de calidad y en cantidades apropiadas, tanto para beber como para las actividades de saneamiento, de producción agropecuaria, elaboración, transformación y preparación de los alimentos. La calidad del agua potable determina la eficiencia con que el cuerpo humano realiza la absorción de los nutrientes. El agua también es importante para la energía, la industria y otros sectores económicos. Otra utilidad está dada por los cursos

de agua y las masas acuáticas es su uso común de ser utilizado como vías de transporte. En general, el agua es factor fundamental para el crecimiento económico, la generación de ingresos y, el acceso económico a los alimentos (27).

2.2.1.1 Definición del Agua. Es un líquido incoloro, inodoro e insípido conformado por dos (2) átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). La formación del agua a lo largo de la historia cósmica es lo que permitió el desarrollo de la vida. En la actualidad se sabe que los elementos que forman la molécula de agua, H_2O , surgen en diferentes épocas. El hidrógeno se conformó al inicio, después del big bang, con el helio y el tritio, pero el oxígeno necesita de mayor tiempo. Fue en el corazón de las estrellas que 3 núcleos de helio (He), se acoplaron para conformar carbono, gracias a la 'resonancia nuclear' de este último. Luego de la formación del carbono, se formó el elemento oxígeno y posteriormente otros elementos más pesados. (27) (28). La molécula de agua está conformada por 2 átomos de H que se unen a un átomo de O por medio de 2 enlaces covalentes. El ángulo entre los enlaces H-O-H es de $104^{\circ}50'$. El oxígeno tiene un mayor nivel electronegativo que el hidrógeno y atrae con más fuerza a los electrones de cada enlace (29).

El agua es el disolvente universal y gracias a esta característica tiene una infinidad de aplicaciones y de usos, una gran cantidad de compuestos se pueden disolver en ella, entre ellos podemos mencionar una gran cantidad de sales, compuestos iónicos, compuestos moleculares, etc. Así mismo hay compuestos que son insolubles en el agua como los compuestos no polares como el cloroformo. El agua siempre ha estado ligada al desarrollo del hombre, los animales y las plantas, basta con mencionar que el agua representa casi un 70% del ser humano y está implicada en muchas de las funciones como digestión, absorción, metabolismo, transporte, secreción, excreción, reproducción, lubricación de articulaciones, regulación de temperatura y

reacciones bioquímicas que ocurren en nuestro cuerpo, de allí la importancia de determinar la calidad del agua que consume el ser humano, no sólo el agua de consumo directo, también aquella que utiliza en la preparación de los alimentos y el agua que usa para realizar sus labores cotidianas (29).

2.2.1.2 Ciclo del Agua. Gracias al ciclo del agua o ciclo hidrológico, este líquido vital continuamente se mueve de un lugar a otro y de un estado a otro.

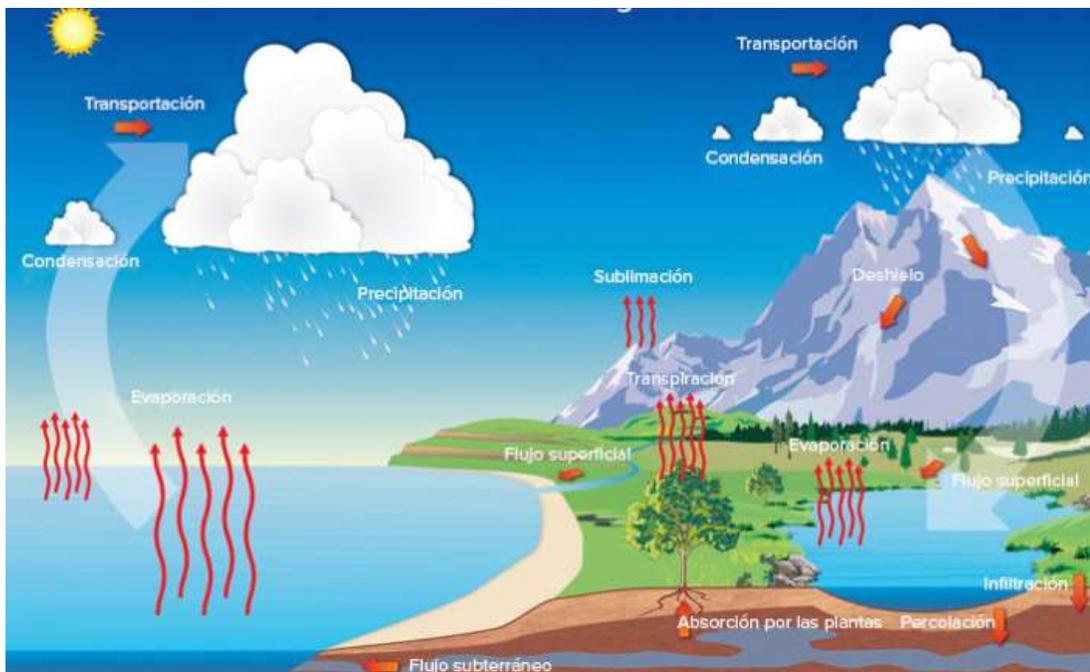


Figura 1. Khan Academia. El Ciclo del agua es vital para el mantenimiento y estabilidad del planeta. 2021.

- ✓ **Evaporación:** la atmósfera se humedece, desde la superficie de la Tierra se traslada el agua hacia la atmósfera a través del proceso de evaporación, por el cual el agua superficial pasa del estado líquido al gaseoso. Alrededor del 80 % del agua evaporada procede de los océanos, el resto del 20 % proviene del agua de las regiones continentales y de la transpiración de la vegetación. Los vientos trasladan el agua evaporada. alrededor del globo, alterando la humedad

del aire en cada lugar. La mayoría del agua que se evapora permanece en estado gaseoso en la atmósfera, afuera de las nubes.

- ✓ **Condensación:** 'el Vapor se hace Agua', la condensación es el proceso de cambio del agua del estado gaseoso al estado líquido. Este hecho de manera general se produce en la atmósfera cuando el aire caliente asciende, se enfría y reduce su capacidad de almacenar vapor de agua. El vapor de agua en exceso condensa y forma las gotas de nube. Los movimientos de ascenso que generan nubes pueden ser producidos por convección en aire inestable, convergencia asociada con ciclones, actividad frontal y elevación del aire por la presencia de montañas.
- ✓ **Transporte:** en el ciclo hidrológico, se denomina transporte al movimiento del vapor de agua en la atmósfera, particularmente desde los océanos hacia el interior de las regiones continentales. Parte del transporte del aire húmedo es visible como nubes, formadas por cristales de hielo o microgotas de agua. Las nubes se desplazan de un lugar a otro por las corrientes de aire en chorro, por la circulación del aire superficial o por otros mecanismos. No obstante, una nube típica de 1 km de altura sólo contiene suficiente agua como para producir 1 mm de lluvia, lo que es insuficiente para explicar las precipitaciones observadas. Ralamente, la mayor parte del agua no se transporta en forma líquida sino en forma de vapor de agua. El vapor de agua representa el tercer gas más abundante en la atmósfera.
- ✓ **Precipitaciones:** las precipitaciones constituyen el mecanismo principal de transporte de aguas desde la atmósfera hasta la superficie terrestre. Cuando las gotas de las nubes, formadas por condensación del vapor de agua presente en la atmósfera a través de alguno de los procesos anteriormente señalados, crecen y se tornan muy pesadas para permanecer en la nube, precipitan o caen a la superficie. Las gotas que conforman las nubes habitualmente se forman cuando el vapor de agua condensa alrededor de partículas muy pequeñas de polvo, humo, sulfatos y sal, denominadas 'núcleos de condensación'. En las regiones

continentales hay en general alrededor de 1000 núcleos de condensación por cm³. Las lluvias pueden originarse también a partir de cristales de hielo que se integren para formar copos de nieve. A medida que la nieve cae y atraviesa aires más calientes, los copos se derriten y se precipitan como gotas de lluvia.

- ✓ Aguas superficiales y subterráneas: el agua sigue bajando. Cuando el agua de lluvia o nieve llega a la superficie, una parte penetra hasta los niveles subterráneos para sumarse al agua subterránea y otra se escurre conformando el agua superficial. El escurrimiento es el movimiento del agua sobre los suelos primordialmente hacia los cursos de agua y finalmente hacia los océanos. El escurrimiento forma las aguas superficiales y consiste en las precipitaciones que no evaporaron, ni transpiraron ni penetraron en el suelo para convertirse en agua subterránea. Aún los cursos de agua más pequeños están conectados a grandes ríos que llevan millones de litros de agua hacia los océanos a lo largo del mundo. El agua de lluvia se infiltra en el suelo hasta encontrar material rocoso saturado de agua. Se denomina capa freática al cuerpo de agua que se aloja en un cuerpo de rocas o sedimentos y que se encuentran en conexión con la atmósfera a través de los poros y las fisuras del material sedimentario o rocoso. El agua subterránea se mueve hacia lo profundo del suelo y en general hacia abajo de manera lenta; en ocasiones puede manar en manantiales, ríos, lagos y océanos (30) (31).

2.2.1.3 Importancia del Agua en la Seguridad Alimentaria. El agua es fundamental para la seguridad alimentaria dado que constituye la linfa de todos los ecosistemas y de los lugares que conforman las fuentes de agua generando una interdependencia en el agua y la producción de los alimentos y en particular sobre reunir las condiciones aptas para el consumo humano. La humanidad requiere de agua de calidad y las cantidades necesarias requeridas para satisfacer la sed, la higiene o sanidad, la producción agrícola

y la producción pecuaria que provee los alimentos demandados por la humanidad, lo cual tiene implicaciones agroindustriales en su elaboración y transformación para el consumidor final. En este sentido la calidad del agua potable incide directamente en la eficacia con que el cuerpo humano absorbe sus nutrientes (27)

En la figura 2, se observan las conexiones del agua con la seguridad alimentaria y la nutrición (SAN).

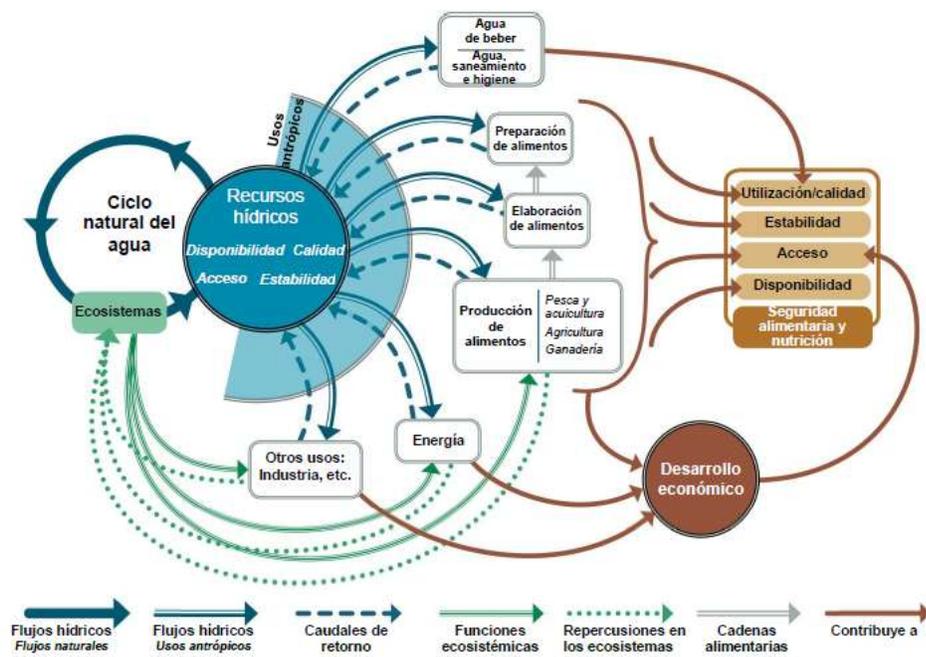


Figura 2. Comité de Seguridad Alimentaria. Las múltiples conexiones del agua con la seguridad alimentaria y la nutrición (SAN). 2015.

En el lado izquierdo en color azul de la figura uno (1), se presentan cuatro (4) dimensiones del agua, que son fundamentales como recurso para usos de la humanidad.

- ✓ Disponibilidad: es poder usar de manera física del agua proveniente de las precipitaciones, los ríos y los acuíferos en una determinada región.
- ✓ Estabilidad: la disponibilidad, la calidad y el acceso al agua varían a lo largo del tiempo como consecuencia de ciclos naturales, pero también de las interferencias humanas en el ciclo del agua, que

modifican los caudales de retorno y provocan la degradación de los ecosistemas. Recursos hídricos diferentes pueden comportarse de modo muy distinto en cuanto a su estabilidad.

- ✓ Calidad: desde el punto de vista de la SAN, la calidad del agua tiene diferentes implicaciones según sus usos; las necesidades en materia de calidad del agua para riego varían según el cultivo; la calidad debe ser elevada si el agua se usa para elaborar alimentos, para preparar comidas y para beber, y es importante para la salud y la higiene y en la producción y elaboración de alimentos.
- ✓ Acceso: aunque quizá haya agua suficiente en los ríos, lagos y acuíferos, las cuestiones relativas a la asignación y la autorización para su uso, así como la infraestructura necesaria para poder utilizarla allí donde se necesite (bombas, canalizaciones, grifos, canales, etc.) pueden facilitar o bien impedir el acceso al agua en favor de la SAN. La infraestructura también influye en la estabilidad del abastecimiento, y el acceso se ve condicionado asimismo por factores socioculturales, económicos, y políticos (27).

En síntesis, el agua es necesaria para la totalidad de las actividades, procesos y resultados asociados con los diferentes sistemas productivos en especial los del sector primario.

2.2.1.4 Tratamiento de la potabilización del agua. En el tratamiento de potabilización del agua para consumo humano se utilizan diversos procesos; la complejidad de los procesos de potabilización depende de las características específicas del agua cruda. Los principales procesos son: (a) cribado; (b) coagulación-floculación; (c) sedimentación, (d) filtración y (e) desinfección, (25) que se describen a continuación:

- a) Cribado. Es un proceso para eliminar los sólidos de mayor tamaño que están presentes en el agua (ramas, madera, piedras, plásticos, etcétera) mediante rejillas que retienen los mencionados materiales.

- b) Coagulación-floculación. Es el proceso en el que se adicionan coagulantes para desestabilizar las partículas coloidales con el propósito de removerlas. Es un proceso muy rápido ocurre en fracciones de segundo, dependiendo de la concentración del coagulante y del pH final de la mezcla. La floculación es un proceso por el cual las partículas desestabilizadas chocan entre sí y se aglomeran formando los floc. En estos procesos, aparte de remover la turbiedad y color, también eliminan bacterias, virus, organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación, algas y sustancias que producen sabor y olor en algunos casos. En las plantas de tratamiento, la coagulación se desarrolla en la unidad de mezcla rápida y la floculación ocurre en los floculadores. Los coagulantes de mayor uso son: sulfato de aluminio, cloruro férrico y sulfato férrico. Igualmente, se utilizan ayudantes de coagulación, como polímeros catiónicos o aniónicos. Para determinar la dosis óptima de coagulante se realizan ensayos de prueba de jarras, que simulan las condiciones de coagulación-floculación de la planta, procurando obtener el floc pesado y compacto que pueda quedar fácilmente retenido en los sedimentadores y que no se rompa al pasar los filtros. En las pruebas de jarras se determina el tamaño del floc producido a través del índice de Willcomb, el tiempo inicial de formación del floc y la turbiedad residual después de un periodo de decantación no inferior a diez minutos; se escoge como dosis óptima la jarra que presenta el floc más grande, mayor velocidad de asentamiento y menor turbiedad residual.
- c) Sedimentación. Es el proceso físico a través del cual las partículas en suspensión presentes en el agua son removidas o separadas del fluido, por el efecto de la gravedad. Estas partículas deben ser más densas que el agua, y el resultado que se obtenga será un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. La remoción de partículas puede lograrse dejando sedimentar el agua, filtrándola o

ejecutando ambos procesos de manera consecutiva, por esta razón ambos procesos se consideran complementarios.

- d) Filtración. Es el proceso que permite la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias, virus) utilizando de un medio poroso. Es la fase garante del cumplimiento de los estándares de calidad para el agua potable. Desde la perspectiva bacteriológica, los filtros tienen una eficiencia de remoción superior a 99%. El tamaño de las partículas que se retienen en mayor o menor proporción en los granos del lecho filtrante varían desde flóculos de 1mm hasta coloides, bacterias y virus inferiores a 10⁻³ mm. Cuando el floc tiene un volumen mayor que el de los poros del lecho filtrante quedan retenidos por cernido en los intersticios del lecho; no obstante, en el caso de las bacterias cuyo tamaño es mucho menor que el de los poros quedan removidas por una serie de fenómenos.
- e) Desinfección. Es el cierre del proceso de tratamiento del agua, que consiste en la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos. Lo que implica que no todos los organismos patógenos se eliminan en el proceso, por lo que requieren procesos previos como la coagulación, sedimentación y filtración para su eliminación. Los factores que influyen en la desinfección son: los microorganismos presentes y su comportamiento; la naturaleza y concentración del agente desinfectante; la temperatura del agua; la naturaleza y calidad del agua; el pH del agua; el tiempo de contacto (32).

La desinfección mide el porcentaje (%) de organismos muertos dentro de un tiempo, una temperatura y un pH prefijados. La resistencia de estos microorganismos varía, son las esporas bacterianas las de mayor resistencia, le siguen los quistes de protozoarios, virus entéricos y por último las bacterias vegetativas (coliformes). La presencia de sólidos reduce la eficacia de la desinfección esto puede suceder porque los organismos asociados a estos

sólidos pueden estar protegidos de la acción de los agentes desinfectantes físicos o químicos. Los agentes químicos de mayor uso son el cloro, el bromo, el yodo, el ozono, el permanganato de potasio, el agua oxigenada y los iones metálicos. Los agentes físicos más utilizados son los sistemas de coagulación-floculación, sedimentación, filtración, el calor, la luz y los rayos ultravioleta (32). A continuación, se observa el diagrama de una Estación de Tratamiento de Agua (ETAP).

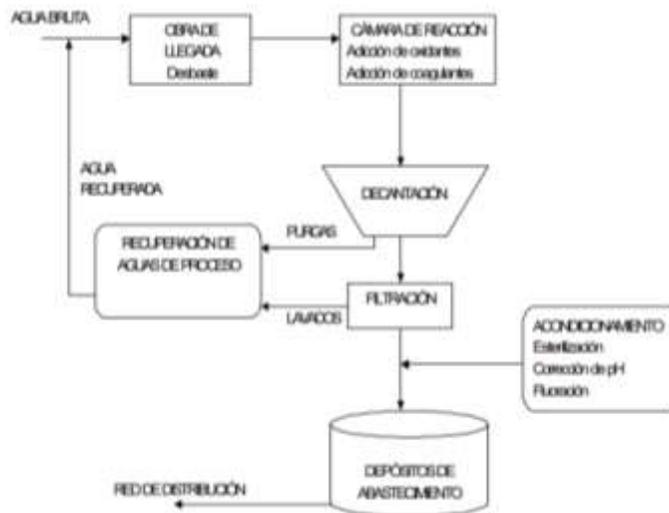


Figura 3. Grupo TAR. ETAP. (s.f.). (33)

2.2.2 Condiciones de Almacenamiento y Tanques de Almacenamiento. El consumo de agua segura es un aspecto de gran impacto en la salud humana. Entre los problemas más comunes causadas por aguas no aptas para el consumo, están las enfermedades diarreicas, provocando en algunas pacientes hasta la muerte. La recurrencia de este tipo de enfermedades se presenta, en diversos casos, por patógenos presentes en la ingesta del agua. A fin de evitar la presencia de patógenos y otros contaminantes, es necesario garantizar tanto la calidad de la fuente de donde es obtenida el agua, como la utilización de tecnologías apropiadas para su conducción, tratamiento, almacenamiento y purificación. Una vez purificada, el agua puede ser consumida por las personas (34). Generalmente el agua se almacena (recogida de una fuente segura o adecuadamente tratada que asegure una

calidad apta para el consumo) en tanques o en pequeños contenedores. Estos almacenamientos de agua como su manipulación, deben cumplir con requerimientos que mantengan la calidad de las aguas. El agua debe almacenarse o manipularse de manera adecuada, para que preserve las características de agua segura para el consumo humano y reducir los riesgos de causar enfermedades. El almacenamiento seguro implica evitar el contacto con elementos contaminantes y utilizar un tanque o contenedores limpios y seguros que garanticen los índices de riesgo para la calidad del agua potable (IRCA) (34).

Los sistemas de abastecimiento de agua potable necesitan de tanques de almacenamiento, cuando los rendimientos admisibles de las fuentes de agua sean menores que el gasto máximo horario (m^3/h) de la población. En los casos contrarios, no se necesita un tanque de almacenamiento, pues con asegurar el diámetro de la línea de conducción es suficiente para lograr cubrir los requerimientos de consumo de agua. Estas estructuras están presentes en todos los sistemas de abastecimiento de aguas comunales, que incluyen sistemas por gravedad con tratamiento, por bombeo sin tratamiento, por gravedad con tratamiento y por bombeo con tratamiento. Igualmente, se encuentran presentes en el sistema de pequeñas fuentes protegidas con transporte manual (35).

Los tanques de almacenamiento deben limpiarse y desinfectarse habitualmente de acuerdo a los riesgos de contaminación que se presenten, ya que con el tiempo no sólo existe una pérdida de cloro residual que afecta la calidad del agua que almacenan, sino también otras posibles causas que conducen a su recontaminación, como el crecimiento microbiano, formación de biopelícula (capa fina y viscosa de bacterias que se adhieren a las superficies que están en contacto con el agua), acumulación de sedimentos, contacto con animales como insectos o ratas, grietas en la estructura del tanque, suciedad en las botas de los trabajadores por descuido en el proceso de rehabilitación o mantenimiento, etc. Como regla general, el agua que proviene de

tanques de almacenamiento se purifica previamente a ser distribuida para su uso como agua potable con el objetivo de garantizar su calidad a lo largo de la red de suministro. Por otro lado, la salida de agua del tanque (por grifo o sistema de tuberías) debe estar diseñada apropiadamente de manera que se evite el contacto con las manos de los usuarios u otras fuentes de contaminación. No se debe usar limpiadores a base de amoníaco en la limpieza debido a que este reacciona con el cloro produciendo un gas muy peligroso (35).

Por otra parte, es pertinente la diferencia entre el proceso de 'almacenamiento' y el proceso de 'regulación'. Esto ocurre porque no todos los tanques tienen la capacidad de almacenar agua para eventos emergentes. El gasto que reciben es igual, o casi igual al gasto de salida hacia la red. Sin embargo, hay sistemas con la capacidad de bombear agua por un tiempo determinado sin recibir un gasto de la fuente de abasto, ya sea por alguna falla en la conducción o en la planta que suministra. Este permite el almacenamiento de un volumen de agua cuando la demanda en la población es menor que el gasto de llegada y el agua almacenada se utiliza cuando la demanda es mayor. Este proceso es parte de la regulación; generalmente esto se hace por periodos de veinticuatro horas. (36).

2.2.2.1 Materiales de construcción. Los tanques de almacenamiento son utilizados en la mayoría de los sistemas de distribución de agua por bombeo en diferentes tamaños, igualmente existen pequeños tanques que conforman parte de los sistemas de suministro por gravedad. El tamaño de la reserva necesaria depende de la población que se requiere atender, la confiabilidad de la fuente y el nivel de experiencia y financiamiento disponible para el mantenimiento del suministro de agua. Es recomendable que los tanques de almacenamiento estén por arriba de la población para que el agua fluya a través del sistema por gravedad. En caso de no ser posible, los tanques se pueden elevar, esto incrementa su costo, por lo que se utilizan tanques más pequeños. Generalmente, se encuentran en áreas donde una fuente de agua

potable no es cercana a la comunidad, el pozo de la zona es de baja capacidad o el agua subterránea es de baja calidad (35).

Entre los materiales de construcción de los tanques se pueden encontrar: concreto simple o reforzado, fibra de vidrio, polietileno y acero. En la actualidad, el uso de fibra de vidrio y polietileno está en crecimiento debido a que son materiales que no se oxidan y, además, son impermeables, por lo que la selección de éste, queda determinado por el tamaño, la forma y el costo del tanque (35).

Los tanques de almacenamiento constan de dos estructuras principales, estas son: (a) el depósito de almacenamiento y, (b) la caseta (cámara) de válvulas. Los componentes básicos de un tanque de almacenamiento son los siguientes: (Ver Figura 4. Tanque de almacenamiento de agua).

- ✓ Depósito de almacenamiento: el tamaño del tanque o su volumen dependerá del promedio de demanda de agua, como la frecuencia de suministro a la población favorecida. Debe tenerse en cuenta que al sobredimensionar el tanque se afectará la calidad del agua, porque el cloro residual, que ayuda a controlar el crecimiento bacteriano en su interior y en las tuberías de aguas, se disipa con el tiempo. El tiempo de almacenamiento también puede afectar el sabor y olor del agua, siempre es mejor su calidad cuanto mayor es la frecuencia de suministro de agua.
- ✓ Compuerta de acceso: se diseña con el objetivo de poder inspeccionar, limpiar y hacer mantenimiento en el interior de los tanques. La tapa de la compuerta debe diseñarse de manera tal de poder cerrarla con candados, para evitar que cualquiera pueda abrirla, también debe evitarse la entrada de agua del exterior, insectos, etc.
- ✓ Tubería de ventilación de aire: debe terminar en una curvatura hacia abajo (ventilación de cuello de cisne) y debe protegerse con una rejilla para evitar que se contamine o que los animales entren al tanque.
- ✓ Caseta de válvulas: habitualmente posee cerraduras para evitar el uso inadecuado de las válvulas de control de entrada, salida, desagüe y

desvío de aguas. La tubería de salida de aguas se coloca unos centímetros más arriba que la parte inferior del tanque para reducir las posibilidades de que los sedimentos acumulados ingresen al sistema de distribución posterior.

- ✓ Bomba de agua y tanque de presión: se utilizan en los tanques enterrados que requieren de estos elementos para poder extraer el agua y distribuirla a la población (35).

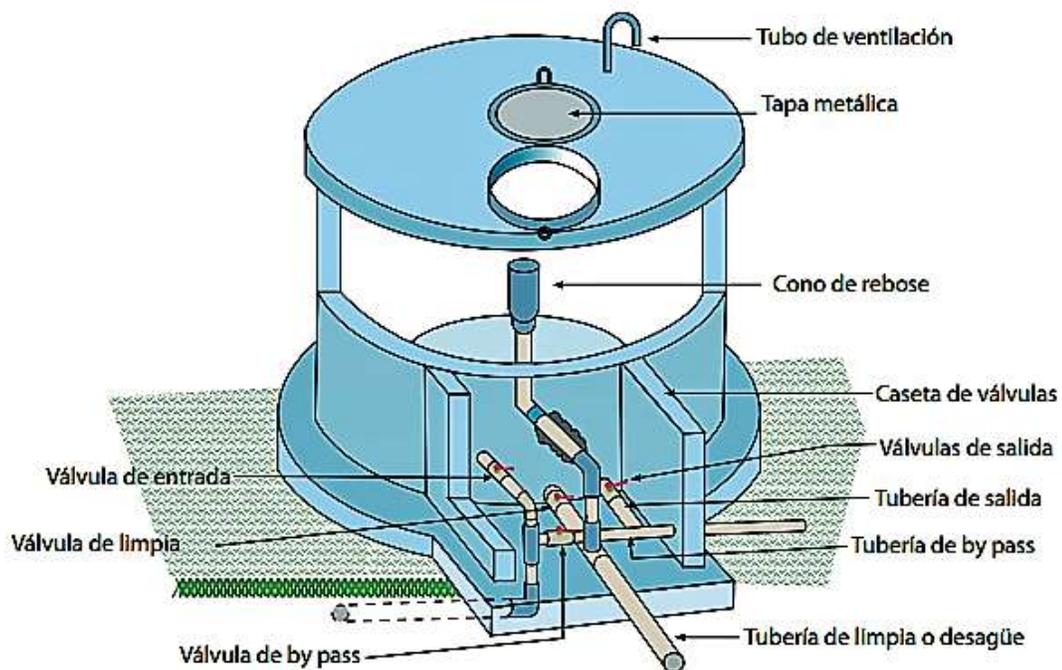


Figura 4. Tanque de almacenamiento de agua potable. (35)

2.2.2.2 Limpieza y Desinfección

La limpieza y desinfección de cada una de las partes que conforman los tanques de almacenamiento (estructuras, tuberías u otros componentes) deben realizarse con regularidad, al menos una vez por año. Estas operaciones también deben realizarse cada vez que realicen alguna de las siguientes actividades: algún trabajo de construcción, reparación o mantenimiento del tanque; porque se produzcan inundaciones en el área de un tanque enterrado; si hay ausencia de uso durante un lapso prolongado; o

por detección de presencia de bacterias en el análisis microbiológico de control (35).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y Organización Panamericana de la Salud (OPS) esquematizan un abordaje de tres pasos para la limpieza y la desinfección de los tanques de agua; para el almacenamiento de agua con calidad (37). Estos pasos se describen a continuación:

✓ **Paso 1. Limpieza del tanque.** El tanque se debe limpiar para garantizar que el agua almacenada en él no se contamine con suciedad o restos de la sustancia que el tanque contenía anteriormente. Esto se puede lograr al seguir los siguientes tres pasos.

➤ ***Drenar o vaciar el tanque.*** Abra la válvula o llave de salida y drene todo el líquido restante. Recoja los líquidos eliminados para que se puedan desechar con seguridad. La mayoría de los camiones cisterna tienen la válvula de salida en la parte de atrás, razón por la cual se deben estacionar en una pendiente para que todos los líquidos se puedan descargar fácilmente (figura 2). Los tanques de almacenamiento permanente usualmente están equipados con una válvula de limpieza interna que permite extraer el agua de la base. Es mejor usar esta última, en vez de la válvula normal de salida. El proceso de vaciado de los líquidos restantes de los tanques portátiles depende de la forma y el diseño del tanque. Algunos se pueden ladear y otros se pueden desbaratar.

➤ **Limpiar y restregar todas las superficies internas.** Utilice una mezcla de detergente y agua (el jabón en polvo casero sirve) para limpiar todas las superficies internas del tanque. Esto se puede hacer con un cepillo firme o con un chorro de agua a alta presión. Si el tanque contenía sustancias volátiles, como el aceite, o líquidos orgánicos, como la leche, no intente ingresar al tanque pues los gases despididos por los líquidos

pueden ser peligrosos. La colocación del cepillo en la punta de un palo largo posibilita la limpieza del tanque sin tener que entrar en él. Tenga especial cuidado en la limpieza de las esquinas y de las uniones para que no quede ni la más mínima cantidad del líquido original. Hasta los residuos más mínimos de algunos líquidos le pueden dar mal sabor al agua y las personas se rehusarán a consumirla. Dejar abierta la válvula de salida mientras se limpia el tanque y recoja los desperdicios líquidos, para desecharlos en forma segura.

➤ **Limpie todas las superficies internas.** Para eliminar todos los restos de detergente se limpian cada una de las superficies internas. Esto se hace más fácilmente con una manguera o con un chorro de agua a alta presión, pero si no se cuenta con ello, se puede llenar el tanque con agua y dejarlo reposar por unas cuantas horas. Drene el agua del tanque y recójala para desecharla en forma segura, como se hizo anteriormente. Continúe vaciando el tanque hasta que no haya vestigios de detergente en el agua.

✓ **Paso 2. Desinfección del tanque.**

➤ Para desinfectar el tanque de forma eficiente, llénelo con agua limpia solamente hasta la cuarta parte de su capacidad. Es importante no llenar mucho el tanque, pues se disminuye la concentración de la solución de cloro y se limita la eficacia de la limpieza. Para calcular la cuarta parte del tanque, se usa un palo con marcas graduadas que indiquen el nivel del agua. Las marcas se deben hacer en el palo en intervalos de 10 cm, empezando en 0 cm en la base del tanque y, luego, hacia arriba a 10 cm, 20 cm, etc. (ver figura 5).

➤ Prepare una solución concentrada de cloro para desinfectar el tanque. La mejor fuente de cloro es el HTH (high test hypochlorite) granulado o en polvo, pues contiene de 50% a

70% de cloro. En la caja 1 se resumen los métodos para calcular la dosis apropiada de cloro para desinfectar un tanque con HTH granulado.

- Vierta la solución lentamente dentro del tanque, revolviendo mientras se hace, y, luego, llene el tanque a su capacidad máxima con agua limpia.
- Deje reposar el cloro en el tanque por 24 horas para asegurarse de su completa desinfección. Si el tanque tiene tapa (lo que se recomienda), ésta debe colocarse.
- Si el tanque se necesita para uso urgente, duplique la cantidad de cloro en el tanque. Esto reduce el tiempo de reposo de 24 a 8 horas.
- Vacíe completamente el tanque y deseche cuidadosamente el agua desinfectante, pues contiene una alta concentración de cloro.
- Recuerde que debe limpiar y desinfectar también los tubos o las mangueras conectados al tanque. Se debe usar el mismo procedimiento previamente descrito.

Caja 1. Desinfección con cloro de un tanque

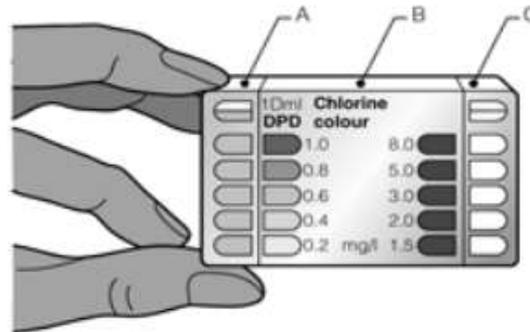
- Calcule el volumen total del tanque.
- Llene un balde de 20 litros con agua limpia.
- Añada 50 g de cloro HTH al agua y revuelva hasta que se disuelva.
- Añada 10 litros (medio balde) de solución de cloro al agua del tanque por cada metro cúbico (m³) del volumen del tanque.
- Recuerde que 1m³ = 1.000 L.

✓ **Paso 3. Evaluación del cloro.**

- Llene nuevamente el tanque con agua limpia y déjela reposar por 30 minutos. El cloro residual del tanque se determina mediante un kit de comparación. (Ver figura 5).
- Si la concentración de cloro residual es de 0,5 mg/L o menos, el tanque es seguro para el almacenamiento de agua. Si la

concentración es mayor de 0,5 mg/L, vacíe nuevamente el tanque y llénelo con agua limpia. Determine nuevamente que la concentración de cloro sea de 0,5 mg/L o menos (37).

El nivel de cloro residual en mg de cloro por litro de agua (mg/L) se determina disolviendo una tableta para la prueba del cloro en el agua analizada, en la cámara (A).
Se compara el color resultante con los colores estándar que aparecen en la pared de la cámara (B).



Nota: se emplea una tercera cámara (C), si se va a medir un nivel mayor de cloro residual.

Se encuentra disponible una hoja de datos por separado para las pruebas de cloro.

Figura 5. Kit de Comprobación. OMS y OPS. 2009 (30)

Existen también actividades de mantenimiento, a continuación, se presenta una tabla de frecuencias y actividades que deben realizarse a los tanques de almacenamiento de agua para su mantenimiento preventivo (35).

Tabla 2. Frecuencia y actividades de mantenimiento preventivo.

Frecuencia	Actividad de Mantenimiento
Diaria	<ul style="list-style-type: none"> -Revisar que las tapas de la cámara de válvulas, sanitaria e inspección estén cerradas y aseguradas. -Revisar si existen grietas o fugas en la estructura para proceder arreglarlas. -Revisar si hay sedimentos en el tanque. -Inspeccionar si no hay agentes extraños o contaminantes en los alrededores del tanque.
Cada dos semanas	<ul style="list-style-type: none"> -Limpiar los sedimentos, sin ingresar al tanque, haciendo uso de la válvula de desagüe.
Mensual	<ul style="list-style-type: none"> -Limpiar los sedimentos en el interior del tanque y evaluar si se requiere del lavado del mismo. -Chequear en el interior del tanque la existencia de grietas, fugas o desprendimiento de la pared y proceder a repararlos. -Maniobrar las válvulas de entrada, salida y rebose para mantenerlas operativas. -Limpiar piedras y malezas en los alrededores del tanque.

Anual	-Pintar la parte externa del tanque (paredes y techos), así como todos los elementos metálicos con pintura anticorrosiva. -Limpiar y desinfectar el interior del tanque (puede realizarse semestral o anualmente). -Lubricar las válvulas de control. -Verificar el estado de la tapa sanitaria y de la tubería de ventilación.
Cada dos años	-Recubrir las paredes internas del tanque con mortero impermeabilizado.

Fuente. Pérez LR. Tanque de Almacenamiento. 2018. (35).

2.2.2.3 Controles in situ

La calidad de agua en vertimientos, tratamientos de depuración, potabilización o cualquier otro uso, implica utilizar métodos normalizados para determinar los parámetros fisicoquímicos en las fuentes de agua, con el propósito de asegurar que los valores de estos parámetros se encuentren dentro del intervalo establecido en el Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA). (31). La alteración de la calidad del agua puede ser ocasionada por efectos de ocurrencias naturales o producto de actividades humanas; bien de carácter industrial, agropecuario, doméstico o de otra índole, por consiguiente, el análisis de los parámetros de calidad del agua se debe realizar a todos los tipos de aguas, sin interesar su origen (38).

Algunos de los parámetros que se emplean para determinar la calidad del recurso hídrico pueden realizarse in situ; es decir en el lugar, midiéndose directamente en el cuerpo de agua de interés. Dónde además de analizar dichos parámetros, también se suele recolectar una muestra representativa de agua; ya sea puntual, compuesta o integrada para su posterior análisis en un laboratorio. Algunos de los parámetros más utilizados para determinar la calidad del agua, y que pueden determinarse tanto en laboratorios como in situ son los siguientes:

- pH, potencial de hidrogeno.
- EC, conductividad eléctrica.
- Temperatura.
- OD, oxígeno disuelto.
- Cloro libre (38).

Estos parámetros se evalúan primeramente en las fuentes hídricas, lo que permite una lectura representativa y puntual de la calidad del agua. Es necesario realizar estos análisis en terreno dado a que este tipo de parámetros pueden ser afectados por variables como la temperatura, oxidación química/biológica, conservación y transporte, dando lugar a resultados de veracidad cuestionable en análisis posteriores (38).

2.2.2.4 Análisis de laboratorio

El análisis de laboratorio, es un proceso químico en el que se extrae una buena muestra del líquido a analizar (dependiendo de la extensión del estudio, se puede llegar a necesitar hasta 1,5 litros). A partir de esa muestra, se determina su calidad. Sin embargo, según las Guías para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud, no se requiere realizar un exhaustivo proceso de detección de cada uno de los agentes patógenos, puesto que requiere un tiempo muy largo y sus procedimientos serían demasiado complejos. Por lo tanto, es suficiente con la identificación de algunos microorganismos nocivos para la higiene y sanidad humana, es decir, los indicadores bacterianos de contaminación. Es primordial realizar un listado con los porcentajes de la cantidad de presencia de estas sustancias, porque al compararlas con valores estandarizados en la normativa de la calidad del agua, se determinará el nivel de calidad del agua analizada (39).

✓ Tipos de Análisis de Aguas

- Análisis completo de agua de consumo: es un análisis muy amplio de parámetros microbiológicos, parámetros químicos y parámetros indicadores. Los ensayos que incluye son pesticidas, HAPs, THMs, metales pesados, aniones y cationes, etc.
- Análisis de control: son análisis sencillos que se realizan en las plantas de tratamiento y depósitos de agua, red de distribución e industrias alimentarias. Comunica sobre la calidad organoléptica y

microbiológica del agua de consumo, así como información sobre la eficacia del tratamiento de potabilización.

- Análisis de grifo: son análisis que se hacen para controlar la calidad del agua y son responsabilidad de los municipios o en su defecto entidades locales. Lleva un control sencillo de parámetros microbiológicos, químicos y organolépticos y se deben de determinar los metales pesados de los que está construida la instalación interior.
- Análisis de fuentes y pozos: son análisis más completos que los análisis de control e informan de la calidad organoléptica, microbiológica, de la eficacia de la desinfección y de la presencia de contaminantes comunes y propiedades del agua. Generalmente son realizados por particulares, industrias y explotaciones agrícolas y ganaderas.
- Análisis de radiactividad: cuando se sospeche de la presencia de radiactividad, se deberá de realizar un análisis para determinar los parámetros reflejados en la legislación.
- Análisis de aguas prepotables: este tipo de análisis se aplica a las aguas superficiales que se van a destinar a consumo humano para clasificarlas en grupos según el tratamiento que deben de recibir para su potabilización (40).

✓ **Tipo de Ensayos.** Los ensayos en aguas de consumo humano se dividen en ensayos organolépticos, ensayos químicos, ensayos microbiológicos y ensayos radiactivos. Los principales ensayos de cada tipo son:

- Ensayos organolépticos: color, olor, sabor y turbidez
- Ensayos microbiológicos: recuento de *Escherichia coli*, recuento de enterococos, recuento de *Clostridium perfringens*, recuento de bacterias coliformes, recuento de bacterias coliformes fecales y totales, recuento de microorganismos a 22° y 37° C, recuento

de *Clostridium* sulfito reductores, recuento de mohos y levaduras, recuento de *Pseudomonas aeruginosa*, recuento de *Staphylococcus aureus*, etc.

- Ensayos químicos: pesticidas organoclorados, pesticidas organofosforados, pesticidas nitrogenados, trihalometanos (THMs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), PCBs, BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), hidrocarburos, compuestos fenólicos, detergentes (aniónicos, catiónicos y no iónicos), metales pesados (plomo, cobre, cadmio, mercurio, arsénico, antimonio, zinc, níquel, hierro, aluminio, estaño, selenio, cromo, manganeso, molibdeno, etc), calcio, magnesio, sodio, litio, potasio, sulfatos, cloruros, bromatos, cianuros, nitratos, nitritos, pH, conductividad, amonio, cloro libre residual, cloro combinado residual, oxidabilidad, carbono orgánico total (COT), alcalinidad, acidez, carbonatos, bicarbonatos, boro, fluoruros, fosfatos, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5), cromo VI, sílice, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, microcistinas, acrilamida, cloruro de vinilo, epiclorhidrina, cloratos, cloritos, demanda de cloro, etc
- Ensayos radiactivos: dosis indicativa total, tritio, actividades alfa total y actividades beta total (40).

2.2.3 Contaminación Biológica de las Aguas

En general, el agua es apta desde la perspectiva bacteriológica para consumo humano si está libre de microorganismos patógenos de origen entérico y parasitario intestinal. La presencia de microorganismos patógenos en el agua de consumo humano es un riesgo que se incrementa en las áreas marginales de mayor densidad poblacional o en zonas con limitaciones de agua potable. Existe la seguridad que las aguas contaminadas pueden causar

enfermedades, situación que genero la necesidad de controlar de manera rutinaria la calidad microbiológica de muestras de varios orígenes (41).

Es difícil realizar el control rutinario del total de microorganismos hídricos, con el potencial de riesgo para la salud, debido a la gran diversidad de bacterias patógenas cultivables, a lo complejo de cada ensayo de aislamiento y a la presencia en baja concentración de varias especies altamente agresivas, sin que el orden detallado indique prioridad. Por estas razones, los análisis bacteriológicos se dirigen a la búsqueda de microorganismos indicadores de contaminación fecal, enfocándose en la cuantificación de coliformes. Este grupo está integrado por *Enterobacterias*, siendo *Escherichia coli* el indicador universal de contaminación fecal. La contaminación biológica de aguas es causada esencialmente por la presencia de excremento humano o animal, y regularmente asociada a la vertiginosa urbanización y la falta de tratamientos de aguas servidas. El diagnóstico de contaminación biológica de las aguas se realiza mediante los análisis microbiológicos de las aguas. Los métodos que generalmente se emplean se basan en la determinación de unidades formadoras de colonias (UFC) o el número más probable (41). A continuación, se describen estas dos técnicas de determinación de la calidad microbiológica de las aguas:

- 1) Determinación de las unidades formadoras de colonias (UCF). El recuento de microorganismos cultivables se puede llevar a cabo por siembra directa en un medio de cultivo selectivo sólido de un volumen de muestra de agua, o previa concentración de la misma por filtración a través de membranas de ésteres de celulosa, denominada Técnica de la Membrana Filtrante. En ambos casos, cada célula viable crece (en el medio o sobre la membrana) y genera una colonia contable (UFC). El número de UFC contables debe estar comprendido entre 30 y 100, y el límite de detección es $< 102 \text{ UFC / mL}$. La figura 6, muestra el aspecto típico de un cultivo donde las colonias se desarrollaron sobre una membrana.



Figura 6. Colonias Bacterianas desarrolladas sobre membrana (41)

2) Método del número más probable (MNP). La densidad microbiana probable en una muestra de agua con baja carga se puede determinar mediante la Técnica de Fermentación con Tubos Múltiples (Método de Wilson) y los resultados se expresan como NMP de microorganismos existentes. Se siembran alícuotas de diluciones seriadas de la muestra en medios de cultivos líquidos específicos y, al cabo de una incubación adecuada, se consideran los números de cultivos 'positivos' y 'negativos'. El NMP se calcula por fórmulas o por tablas que utilizan el número de tubos positivos en las diluciones (41). (Ver figura 7).

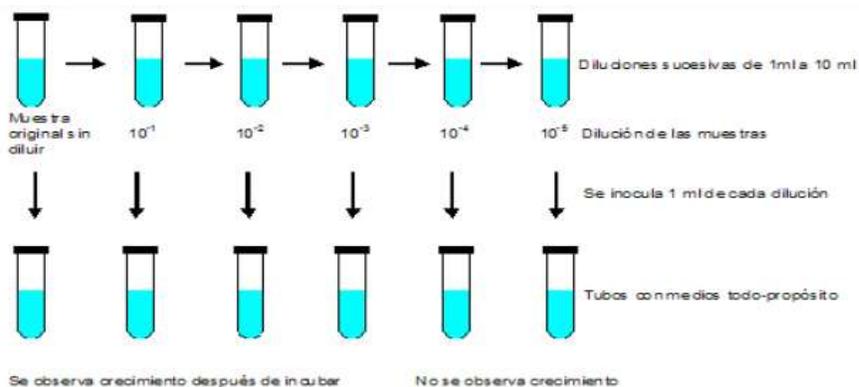


Figura 7. Tubos positivos en disoluciones (41)

2.2.3.1 Bacterias. Más del ochenta por ciento (80%) de bacterias se pueden aislar del agua. Generalmente son bacterias entéricas, provenientes del tracto gastrointestinal de animales y humanos, conceptualizadas como bacterias fecales, su capacidad de sobrevivir y reproducirse en el agua es limitada por el estrés fisiológico que presenta el medio acuoso. Al establecer las bacterias como bioindicadoras tiene un alto grado de complejidad por las limitaciones diagnósticas que esto implica. Sus características específicas indican que su hallazgo está asociado con infecciones recientes o con presencia de materia orgánica y condiciones de pH, humedad y temperatura que faciliten su reproducción y sobrevivencia.

Entre las bacterias establecidas como contaminantes del agua se han aislado Gram negativas, especialmente pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Gallionella*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bordetella*, *Neisseria*, *Moraxella* y *Acinetobacter*. Sin embargo, el grupo bacteriano que cumple con las características de potencial bioindicador de calidad del agua es el de las bacterias coliformes, enterobacterias o Enterobacteriaceae, anaerobias facultativas, no esporulantes, productoras de gas y fermentadoras de lactosa por vía glucolítica, que generan ácidos como producto final. Corresponden a 10% de los microorganismos intestinales humanos y animales, por lo que su presencia en el agua está asociada con contaminación fecal e indica tratamientos inadecuados o contaminación posterior. Este grupo incluye géneros *Escherichia*, *Edwardsiella*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, y *Citrobacter*. Estos cuatro últimos se encuentran en grandes cantidades en fuentes de agua, vegetación y suelos, por lo que no están asociados necesariamente con contaminación fecal y no plantean ni representan necesariamente un riesgo evidente para la salud. Sin embargo, especies de géneros *Enterobacter* y *Klebsiella* colonizan superficies interiores de las tuberías de agua y tanques de almacenamiento, que forman biopelículas en

presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y tiempos largos de almacenamiento (3).

En Colombia el género *Escherichia*, conforme al Decreto 1575 de 2007, es un bioindicador obligatorio en el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua de Consumo Humano. Este género incluye cepas patógenas y no patógenas y corresponde a 80% de la microflora intestinal normal, donde habitualmente es inofensiva. Actualmente están descritas cepas patógenas para el humano que causan enfermedades graves, tales como son las infecciones en las vías urinarias, bacteriemia y meningitis. Seis cepas enteropatógenas pueden causar diarrea aguda: (a) *E. coli* enterohemorrágica; (b) *E. coli* enterotoxígena; (c) *E. coli* enteropatógena; (d) *E. coli* enteroinvasiva; (e) *E. coli* enteroagregativa y *E. coli* de adherencia difusa. Las respuestas de estas cepas a los diversos procedimientos de desinfección son similares a la de las cepas no patógenas, por lo que en varios países se establece como bioindicador, incluido Colombia. Dentro del grupo de enterobacterias encontramos otros géneros como *Shigella* y *Salmonella*, causantes de disentería bacilar; *Salmonella typhimurium* y *Salmonella typhi* productoras de gastroenteritis y fiebre tifoidea, respectivamente (3).

2.2.3.2 Aerobios mesófilos. Los microorganismos que forman parte de este grupo son heterogéneos, es una cualidad que procede de la propia definición del grupo. En este grupo se encuentran todas las bacterias que en aerobiosis presentan la capacidad para conformar colonias visibles, bajo las condiciones en las que se realiza un ensayo con crecimiento a temperatura óptima para los mesófilos. En los recuentos de microorganismos aerobios mesófilos se calcula la flora total, pero sin especificar tipos de gérmenes (42).

Se investigan mediante método de recuento en placa con siembra en profundidad, que se basa en contar el número de colonias desarrolladas en una placa de medio de cultivo sólido (Agar para recuento en placa o PCA), donde se ha sembrado un volumen conocido de la solución

madre o sus diluciones (1 mL), incubadas a 35 °C durante 24 h-48 h. (42).

El grupo de bacterias coliformes es el principal indicador de calidad de distintos tipos de aguas; el número de coliformes en una muestra, se utilizan como criterio de contaminación y calidad sanitaria del agua. Los coliformes son bastones Gram-negativos, aerobios o anaerobios facultativos, incluye los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y especies lactosa positiva de otros géneros. Esto provee información importante sobre la fuente y el tipo de contaminación presente. Entre los indicadores de calidad sanitaria, que se han utilizado en el análisis microbiológico del agua, se encuentran los aerobios mesófilos, los cuales son microorganismos heterótrofos, aerobios o anaerobios facultativos, mesófilos o psicotróficos capaces de crecer en cualquier medio de agar nutritivo (43).

2.2.3.3 Coliformes totales. El grupo de bacterias coliformes es un indicador primordial en la determinación de la calidad de los distintos tipos de agua; el número de coliformes en una muestra, se usa como criterio de contaminación y, por lo tanto, de calidad sanitaria del agua. El examen bacteriológico del agua usualmente involucra para la estimación de los coliformes y aerobios mesófilos métodos tradicionales como el NMP, filtración por membrana y la siembra en profundidad o vertido en placas. También es muy utilizado el método en placa Petrifilm para estos indicadores. El método Petrifilm es altamente reproducible, puede usarse para cualquier tipo de muestra, facilita la identificación y recuento de colonias, y se obtienen resultados en menor tiempo, en comparación con los métodos tradicionales (43).

2.2.3.4 Coliformes fecales. Los coliformes son una familia de bacterias que se hallan comúnmente en las plantas, suelos, animales y los seres humanos. La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicador contaminación con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Regularmente, estas bacterias se encuentran con gran abundancia en las

capas superficiales de las aguas o en los sedimentos del fondo; sin embargo, es necesario realizar más pruebas para poder determinar tanto las bacterias específicas presentes como los niveles de contaminación. El rango establecido de bacterias coliformes fecales por cada muestra de agua es si es potable, menos de 0 colonias/100 ml. La diversidad de microorganismos presentes en el agua es muy elevada haciendo muy difícil determinarlos por medio de análisis rutinarios y rápidos. Por tanto, se recurre a la investigación de organismos que actúan como indicadores de contaminación fecal, procedimiento que asegura la eficacia de la potabilización y de la depuración del agua. El examen bacteriológico es un medio útil para detectar contaminaciones fecales potencialmente peligrosas en el agua y garantiza o no la calidad del agua (44).

La temperatura de una muestra se establece por la absorción de radiaciones en las capas superficiales del líquido. Las diferencias de temperatura afectan las propiedades químicas del agua y afectan su comportamiento microbiológico (44).

En las aguas de consumo humano, una tasa alta de Oxígeno Disuelto (OD) en tuberías puede contribuir a corroer materiales metálicos, que sirven, como mecanismo de retroalimentación para el desarrollo de bacterias del Hierro (Fe) y del Magnesio (Mn) y provocar efectos de coloración y turbidez en el agua de consumo. También, la cantidad de OD que puede disolverse en el agua depende de la temperatura; una muestra de agua, entre más fría, conserva más oxígeno que una caliente. Un contraste en los niveles de OD puede detectarse en los sitios de prueba, ya que, si se realiza en la mañana, cuando el agua está fría, y luego se repite en una tarde soleada, los resultados serán diferentes. Igualmente existen diferencias en los niveles de OD entre las temperaturas del agua en época de invierno y las de la época de verano (44).

En cuanto a compuestos, el amonio es el estado más bajo de oxidación del agua y es el destino final de la reducción de sustancias orgánicas e inorgánicas 'ricas' en nitrógeno. En aguas oxigenadas, el amonio se oxida a NO₂ por acción de bacterias, partiendo bien sea de amoníaco

neutro o de sales de amonio monopositivo. Los nitritos son poco estables químicamente y su presencia en el agua suele indicar una contaminación de carácter fecal reciente (44).

En síntesis, la presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada. La contaminación fecal es el principal riesgo sanitario en el agua, pues supone la presencia de microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades en la salud humana.

2.2.3.5 Pseudomonas spp. “El género *Pseudomonas* está constituido por bacilos aerobios gram negativos móviles, posee una densa capa de polisacáridos que actúa como barrera fisicoquímica capaz de protegerla del efecto del cloro residual” (2). Se identifican por la observación de diferentes características fisiológicas, como es el uso de diversos compuestos orgánicos como fuentes de carbono y energía que incrementan su resistencia a factores ambientales. Han sido aisladas de equipos destiladores, agua potable, tanques cisterna, tanques domiciliarios, redes de distribución de agua para consumo humano, evidenciando su capacidad de sobrevivir y multiplicarse en aguas sometidas a procesos de desinfección. Su resistencia al cloro es superior a la de otros microorganismos aislados de aguas; su característica principal es su capacidad de inhibición de coliformes que, al ser indicadores de contaminación de agua más comúnmente usados en el mundo, existe una gran posibilidad de consumir agua con índice de coliformes cero, que podrían estar inhibidos por microorganismos del género *Pseudomonas* (3).

Otras especies de los géneros *Pseudomonas*, *Sarcina*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Proteus*, *Bacillus*, *Actinomyces* y algunas levaduras, son microorganismos que influyen en la detección del grupo coliforme, ya que ejercen sobre éstos una acción inhibitoria. Se considera por tanto que, aun cuando las aguas tratadas muestren estar libres de coliformes no se puede asegurar su potabilidad (3).

2.2.3.6 Parásitos. Entre de los parásitos patógenos transmitidos por el agua se hallan dos grupos, los protozoos y los helmintos Protozoos. Sus formas parasitarias, quistes u ooquistes y trofozoitos, en su mayoría son retenidos en los procesos de filtración en los sistemas de tratamiento y algunos son resistentes a la cloración. Los parásitos patógenos son causa de enfermedades diarreicas en las especies que parasitan y, en algunas ocasiones, son organismos oportunistas causantes de enfermedades graves e incluso la muerte en niños, ancianos y pacientes inmunocomprometidos (3).

Los protozoos patógenos más encontrados en aguas contaminadas son: *Giardia intestinalis*, *Entamoeba histolytica*, *Balantidium coli*, *Toxoplasma gondii*, *Blastocystis* sp., *Enterocytozoon bieneusi*, *Encephalitozoon intestinalis*, *Cryptosporidium* spp. y algunas otras especies de coccidias como *Cystoisospora belli* y *Cyclospora cayetanensis* (3).

Los ooquistes de *Cryptosporidium* spp. permanecen viables en el agua ciento cuarenta días y son altamente resistentes a la gran mayoría de desinfectantes corrientes, lo que limita e incluso imposibilita su destrucción por la cloración normal de las aguas. Ciertos brotes mundiales de criptosporidiosis ocurren por contaminación de aguas superficiales, subterráneas o recreacionales con ooquistes del parásito. Brotes con un mayor número de casos son provocados por la contaminación de aguas en plantas de tratamiento de grandes ciudades (2). En Colombia la resolución 2115 de 2007 reglamenta los protozoos *Giardia* spp. y *Cryptosporidium* spp. como bioindicadoras de la calidad del agua de consumo humano y establece como técnica la aprobada por el Instituto Nacional de Salud la cual es la avalada por la United States Environmental Protection Agency (EPA) (3).

Los Helmintos, son altamente resistentes a los cambios de pH, humedad y temperatura en el ambiente externo y son causantes de altas tasas de morbilidad por consumo de aguas contaminadas. Otra de sus características importantes es su mínima dosis infectiva y la resistencia a la desecación de los huevos de éstos parásitos, que logran durar

largos períodos de tiempo en el ambiente externo. Las ventajas de establecer una especie de helminto como bioindicador, son su resistencia, su fácil identificación por laboratorio y su prevalencia. Los principales helmintos patógenos transmitidos por el agua son *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Paragonimus* spp., *Schistosoma* spp., *Necator americanus* y *Ancylostoma duodenale* (3).

2.2.3.7 Virus. Los virus son la causa primera de morbilidad y mortalidad en las enfermedades de transmisión hídrica y en ningún caso se consideran flora normal del tracto gastrointestinal tanto en los animales como en los seres humanos. El ochenta y siete por ciento (87%) de las enfermedades virales que se transmiten por aguas son causadas por los virus de la Hepatitis, Adenovirus y Rotavirus. Existen más de ciento cuarenta virus patógenos entéricos de transmisión hídrica, previa contaminación con materia fecal provenientes de personas o animales infectados (3).

Los principales virus son: (a) Enterovirus, conformados por tres grupos importantes: los poliovirus, virus ARN causantes de poliomiélitis; (b) los coxsackievirus con más de treinta serotipos causantes de faringitis febril, herpangina, pleurodinia epidémica, algunos casos de meningitis aséptica y miocarditis; y (c) los echovirus causantes de infecciones asintomáticas, pericarditis y erupciones cutáneas. En Colombia la legislación no incluye en ninguna norma la determinación de virus ni fagos en el diagnóstico, seguimiento y control de la calidad del agua para consumo humano (3).

2.3 MARCO CONCEPTUAL

AGUA: “es el conjunto de responsables, instrumentos, procesos, medidas de seguridad, recursos, características y criterios organizados entre sí para garantizar la calidad de agua para consumo humano. Calidad del agua |||
Página 10 de 40 Término Descripción agua para consumo humano” (45).

AGUA POTABLE O AGUA PARA CONSUMO HUMANO: de acuerdo a lo señalado en el artículo 2 del Decreto 1575 de 2007, es:

...aquella que, por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el mencionado decreto y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal (45).

ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DEL AGUA: “son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas” (46).

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA: “son los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos” (43).

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO: “se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes o suspendidos en el agua” (46).

CALIDAD DEL AGUA: “es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia” (46).

CARACTERÍSTICA: “Término usado para identificar elementos, compuestos, sustancias y microorganismos presentes en el agua para consumo humano” (46).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS: “el agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan en el artículo 2 de la Resolución 2115 de 2007” (45).

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: las características químicas del agua “para consumo humano de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos deben enmarcarse dentro de los valores máximos aceptables que señalados en los artículos 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 de la Resolución 2115 de 2007” (45).

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS. las características microbiológicas del agua “para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos en los artículos 11 y 12 de la Resolución 2115 de 2007” (45).

COLORO COMBINADO: “es el cloro existente en combinación química con amoníaco, nitrógeno o compuestos orgánicos clorados como las cloraminas” (36).

COLORO RESIDUAL: “es la fracción de cloro añadido que conserva sus propiedades desinfectantes” (46).

COLORO RESIDUAL LIBRE: “es el cloro presente en agua como ácido hipocloroso (HOCl) e iones hipoclorito (OCI). Este reacciona rápidamente con amoníaco y algunos compuestos nitrogenados para formar cloro combinado” (46).

COLIFORMES: son:

Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la β galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano (46).

Escherichia Coli (E-Coli): es un “bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la β galactosidasa y β glucoronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano” (46).

FUENTE DE ABASTECIMIENTO: “depósito o curso de agua superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas” (46).

ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO (IRCA): es el “grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades

relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano” (45).

INSPECCIÓN SANITARIA: se define como:

El conjunto de acciones que, en desarrollo de sus funciones, realizan las autoridades sanitarias y las personas prestadoras que suministran o distribuyen agua para consumo humano, destinadas a obtener información, conocer, analizar y evaluar los riesgos que presenta la infraestructura del sistema de abastecimiento de agua. Igualmente, están encaminadas a identificar los posibles factores de riesgo asociado a inadecuadas prácticas operativas y a la determinación de la calidad del agua suministrada, mediante la toma de muestras, solicitud de información y visitas técnicas al sistema de suministro, dejando constancia de ello mediante el levantamiento del acta respectiva (45).

LABORATORIO DE ANÁLISIS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO:

Es el establecimiento público o privado, donde se realizan los procedimientos de análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano, el cual debe cumplir con los requisitos previstos en el decreto número 1575 de 2006 del Ministerio de la Protección Social (46).

NIVEL DE RIESGO: asociado al porcentaje de IRCA, “señala posibilidad que tienen los usuarios de contraer enfermedades relacionadas con el consumo de agua que está siendo distribuida mediante la red de distribución” (45).

NIVEL DE RIESGO, SIN RIESGO (0 -5): es el “agua apta para consumo humano” (45).

NIVEL DE RIESGO BAJO (5.1 – 14): es el “agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento” (45).

NIVEL DE RIESGO MEDIO (14.1 – 35): es el “agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora” (45).

NIVEL DE RIESGO ALTO (35.1 – 80): es el “agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos” (45).

NIVEL DE RIESGO INVIABLE SANITARIAMENTE (80.1 – 100): es el “agua no apta consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades de orden nacional” (45).

PLANTA DE TRATAMIENTO O DE POTABILIZACIÓN: es el “conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable” (46).

POBLACIÓN SERVIDA O ATENDIDA: “es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua” (45).

PUNTOS DE MUESTREO EN RED DE DISTRIBUCIÓN: son:

Sitios puntuales en donde se realiza la toma de la muestra de agua para consumo humano en la red de distribución, de acuerdo con lo definido entre la autoridad sanitaria y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano (45).

RED DE DISTRIBUCIÓN O RED PÚBLICA: “es el conjunto de tuberías, accesorios, estructura y equipos que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta las acometidas domiciliarias” (45).

SISTEMA PARA LA PROTECCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL CONSUMO HUMANO: “es el conjunto de responsables, instrumentos, procesos, medidas de seguridad, recursos, características y criterios organizados entre sí para garantizar la calidad de agua para consumo humano” (45).

2.4 MARCO LEGAL

A continuación, se relacionan las principales normas vigentes para vigilancia y control en materia de calidad de agua:

- ✓ Ley 142 de 1994. Expedida por el Congreso de la República. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Esta ley señala que el servicio público

de acueducto tiene como indicadores la calidad, continuidad y presión.

- ✓ Resolución 2115 de 2007. Expedida por Ministerio de la Protección Social-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- ✓ Decreto 1575 de 2007. Expedido por el Ministerio de la Protección Social. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
- ✓ Resolución 1303 de 2008. Expedido por el Ministerio de la Protección Social. Por la cual se adopta un método para análisis microbiológico de aguas para consumo humano validado por el Instituto Nacional de Salud.
- ✓ Resolución 811 de 2008 – expedido por Ministerio de la Protección Social-Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.
- ✓ Concepto CRA 36941 de 2008. Expedido por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA). Consulta sobre el control de calidad de agua luego de pasar por la fase de limpieza.
- ✓ Guías para la calidad del agua potable de 2008. Expedidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, incluidos los procedimientos mínimos, valores de referencia específicos, modo de aplicación, métodos de cálculo, métodos utilizados para garantizar la inocuidad microbiana.

- ✓ Resolución 082 de 2009. Expedida por el Ministerio de la Protección Social. Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano.
- ✓ Resolución 4716 de 2010. Expedida por Ministerio de la Protección Social – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por medio de la cual se reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007”. En esta se relacionan las condiciones mínimas que deben cumplir los mapas de riesgo de la calidad del agua para consumo humano.
- ✓ Manual de toma de muestras de 2011. Expedido por Instituto Nacional de Salud: Manual de Instrucciones para la toma, preservación y transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para análisis de Laboratorio.
- ✓ Resolución 154 de 2014. Expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad, y Territorio Por la cual se adoptan los lineamientos para la formulación de los planes de Emergencia y Contingencia para el manejo de desastres y emergencias asociados a la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo y se dictan otras disposiciones.
- ✓ Resolución 1615 de 2015. Expedida por el Ministerio de Salud y Protección Social. Por la cual se autorizan laboratorios para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano.
- ✓ Decreto 1898 de 2016. Expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad, y Territorio. Por el cual se adiciona el Título 7, Capítulo 1, a la Parte 3, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 18 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente a esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas rurales.

- ✓ Resolución 549 de 2017. Expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad, y Territorio. Por la cual se adopta la guía que incorpora los criterios y actividades mínimas de los estudios de riesgo, programas de reducción de riesgo y planes de contingencia de los sistemas de suministro de agua para consumo humano y se dictan otras disposiciones.
- ✓ Resolución 0330 de 2017. Expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad, y Territorio. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009.
- ✓ Decreto 1272 de 2017. Expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad, y Territorio. Por el cual se adiciona el Capítulo 2, al Título 7, de la Parte 3, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 18 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente a esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas de difícil acceso, áreas de difícil gestión y áreas de prestación, en las cuales por condiciones particulares no puedan alcanzarse los estándares de eficiencia, cobertura y calidad establecidos en la ley (47).

2.5 MARCO CONTEXTUAL

La ciudad de Cúcuta es la capital del departamento de Norte de Santander y a su vez un distrito especial de acuerdo con la constitución de 1991. Es un importante epicentro económico, histórico, cultural y deportivo de Colombia. Está ubicada en el oriente de su departamento, en la cordillera oriental (rama de la cordillera de los andes), sus coordenadas son 7°52'48"N 72°30'36"O. su extensión territorial es de 1.176km² mientras que su altitud es de 320 msnm y su temperatura media de 32 grados centígrados su población neta es de 1.196.775 su índice de desempleo es de 18.3 % es decir el más alto del país

2.7 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 3. Operacionalización de las Variables

Preguntas de Investigación	Objetivos Específicos	Variable	Dimensión	Operacionalización de la Variable			
				Indicador	Instrumento	Escala	Fuente
¿Cuáles son los factores que afectan la calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-A?	Identificar los factores que afectan la calidad microbiológica del agua, mediante revisión del cloro, temperatura y pH in situ.	Factores de calidad microbiológica del agua.	Cloro	%	Clorímetro	Razón	Agua de la UDES campus Cúcuta.
			Temperatura	°C	Termómetro	Intervalo	
			pH		pHmetro	Razón	
	Determinar el nivel de calidad microbiológica mediante métodos estandarizados de laboratorio	Nivel de Calidad Microbiológica.	<i>Aerobios Mesofilos</i>	UFC/100mL	Microscopio	Razón	Agua de la UDES campus Cúcuta.
			<i>Coliformes totals.</i>	UFC/100mL			
			<i>Pseudomonas Spp.</i>	Bacterias/mL			

Preguntas de Investigación	Objetivos Específicos	Variable	Dimensión	Operacionalización de la Variable			
				Indicador	Instrumento	Escala	Fuente
	Establecer el índice de riesgo de calidad del agua mediante aplicación de procedimientos estadísticos	Índice de Riesgo de Calidad.	-----	-Sin Riesgo (0-5) - Riesgo Bajo (5.1 - 14) Riesgo Medio (14.1-35) -Nivel de Riesgo - Alto (35.1-80) Riesgo-Inviabile sanitariamente (80.1-100).	Observación	Intervalo	Agua de la UDES campus Cúcuta.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Existen diversos modelos y tipos de investigación que se clasifican atendiendo a su objetivo, la profundidad del estudio a realizar, los datos a analizar, el tiempo que requiere el estudio del fenómeno, entre otros factores, en esta investigación se hace referencia al nivel y diseño de la investigación. El nivel se refiere al grado de profundidad con que es abordado el fenómeno o el objeto de estudio y el diseño se entiende como la estrategia que desarrolla el investigador para levantar los datos y obtener la información requerida para dar respuesta al planteamiento del problema de la investigación (49) (50).

3.1.1 Nivel de Investigación. El nivel de investigación descriptiva se define del modo siguiente:

La Investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, de un fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento que ocurre de manera natural sin explicar las relaciones identificadas (49) (51).

En atención a la definición presentada este estudio es de carácter descriptivo en tanto determinó los factores que afectan la calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander campus Cúcuta, sin explicar las relaciones entre las variables identificadas.

3.1.2 Diseño de la Investigación. El diseño de investigación de campo se define de la manera siguiente:

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental (49).

Atendiendo a la definición anterior el diseño de este estudio es de campo dado que se levantaron los datos directamente de las muestras obtenidas de las aguas de la Universidad de Santander campus Cúcuta sin manipulación de ninguna variable objeto de estudio.

3.2 MÉTODOS

El estudio se desarrolló en cuatro fases: fase preparatoria, fase descriptiva, fase analítica y fase de cierra, las cuales se describen a continuación:

FASE I: Preparatoria: se estableció como propósitos, en un primer paso la identificación de los diferentes microorganismos que se pueden desarrollar en las aguas de consumo humano en la Universidad de Santander campus Cúcuta. En un segundo paso la realización de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos de las muestras. A tal fin se requirió la preparación de los medios de cultivo y los materiales para la toma de muestras.

FASE II: Descriptiva: la investigación se desarrolló en la Universidad de Santander campus Cúcuta, mediante la realización de las actividades siguientes: preparación de los medios de cultivo, aislamiento de materiales, toma de muestras, procesamiento, y análisis de resultados. A continuación, se presentan los procedimientos ejecutados:

- ✓ Preparación de los medios de cultivo: Agar CHR, Agar SPC, Caldo Asparagina, Agar Cetrimide.
- ✓ Toma de las muestras: se tomaron seis muestras, tres en los tanques de almacenamiento y en tres puntos de hidratación. Se realizó la medición in situ de PH, Cloro residual, y temperatura.
- ✓ La manera como se realizó la preparación de las muestras fue el siguiente: las muestras se recolectaron de las aguas de consumo humano de la UDES Cúcuta, se sometieron al proceso de filtración por membrana, se realizó la siembra por diferentes medios de cultivo, luego se realizó el análisis por medio de la lámpara UV de onda larga (para *Pseudomonas spp*).
- ✓ Métodos de filtración por membrana:

- *Aerobios mesófilos*: se filtraron las muestras de agua en el equipo de filtración estéril, se ubicó la membrana en el medio Plate Cuont (SPC). La incubación se realizó entre 35-37°C. Después de las 24 horas, se examinaron las cajas y se observaron las colonias.
- *Escherichia Coli*: el método estándar se basó en la filtración por membrana, luego se realizó el posterior cultivo en un medio de agar de Chromocult. La incubación se ejecutó entre 35-37°C. Después de 24 horas se observaron las colonias y comprobó la presencia de las de E. coli.
- *Coliformes totales*. Se realizó la filtración por membrana, luego se realizó el cultivo en un medio de agar de diferenciación agar Chromocult. La incubación se realizó entre 35 -37°C. Después de 24 horas, se observaron las cajas y comprobaron las colonias con presencia de bacterias coliformes.
- *Coliformes fecales*: se realizó por medio de la filtración por membrana, luego se ejecutó el cultivo en un medio de agar de diferenciación agar Chromocult. La incubación se realizó entre 35-37°C. Después de 24 horas, se observaron las cajas y se comprobaron las colonias con presencia de bacterias coliformes.
- ✓ Método del número más probable para *Pseudomonas spp.*
 - Fase presuntiva: Siembra en caldo asparagina. Tubos positivos (fluorescencia).
 - Fase confirmatoria: Siembra en agar cetrimide positivo: colonias con fluorescencia oxidasa (+)
 - Incubación: Incubar a 35 -37°C. Después de 24 horas, observar los tubos con lámpara ultravioleta de onda larga, aparición de un pigmento fluorescente verde.

Fase III: Analítica: con base en los resultados de los análisis obtenidos de cada una de las muestras se realizó la comparación con los parámetros de la resolución 2115 del 2007.

Fase IV: Cierre: el proyecto finaliza en noviembre de 2021, con la elaboración del informe final del Trabajo de Grado, la sustentación ante un jurado académico, la elaboración de un artículo científico sin publicar y la entrega a la Biblioteca de la Universidad.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población. Es el conjunto de elementos finitos o infinitos con características específicas que se definen dentro de una categoría, a estos estos elementos se les denomina unidades de estudio, para las cuales son extensivas las conclusiones de la investigación (49) (52).

En atención a la anterior definición en este estudio la población se conformó por el agua utilizada para el consumo humano en la Universidad de Santander campus Cúcuta.

3.3.2 Muestra. Es el subconjunto o parte del universo o población, representativo y finito que se extrae por diversos métodos de dicha población, a la cual se le miden o valoran las características particulares. (49) (53) (54).

Atendiendo a la definición de muestra presentada anteriormente en esta investigación la muestra se conformó por un muestreo de toma de agua de seis puntos de la Universidad: tres de los tanques de almacenamiento de las aguas y tres de los puntos de hidratación. El procedimiento del muestreo es el muestreo no probabilístico basado en el criterio de expertos.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas e instrumentos de recopilación de datos se refieren a los procedimientos o forma particular y herramientas mediante las cuales se recogen u obtienen los datos e informaciones necesarios para dar respuestas a las preguntas de investigación o contrastar las hipótesis de investigación (49) (53). Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo, procedimiento o formato que se utiliza para levantar, registrar y almacenar los datos de las variables de la investigación, entre los instrumentos se destacan los formularios de cuestionarios, encuestas, guía y protocolos de observación, cuadernos de campo, cuadernos de laboratorio y notas de campo, entre otros (49) (50) (53).

En atención a las definiciones desarrolladas anteriormente en este estudio los instrumentos de recolección de datos serán los cuadernos de laboratorio y guías de observación que se validaron por expertos y su fiabilidad se determinó por la rigurosidad establecida en los protocolos de Laboratorio.

3.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.

El procesamiento de los datos se realizó mediante la tabulación y el ordenamiento de la información pueden en primera instancia con un procesamiento estadístico realizando el cálculo de frecuencias inicialmente y luego realizar otros cálculos utilizando técnicas estadísticas, para su posterior análisis e interpretación. A partir de la tabla de distribución de frecuencias se resume e interpreta la información obtenida mediante el uso de medidas de tendencia central, de dispersión. Los datos recolectados, procesados y ordenados en una base de datos con el propósito de realizar la descripción de las variables observadas en las unidades de estudio o para realizar una inferencia, entre los procedimientos utilizados esta la estimación, se aplica a la información muestral con el propósito de estimar parámetros de la población (55) (50).

El análisis estadístico de los datos es el proceso utilizado para transformar grandes cantidades de datos cuyo comportamiento necesitamos comprender, se conforman en estructuras más sencillas que representan características generales de todo el

conjunto de datos. Los métodos analíticos son procedimientos que permiten obtener información del conjunto de datos a partir de las cantidades, resumen o modelos matemáticos. Entre los métodos analíticos se encuentran los métodos descriptivos, que brindan suficiente información sobre la naturaleza y comportamiento de las variables individualmente. Los resultados se ilustran en gráficos para facilitar su comprensión (56).

En atención a las definiciones anteriores en este estudio se utilizarán los procedimientos de la estadística descriptiva mediante las medidas de tendencia central y los datos se procesarán en tablas de frecuencias en una base de datos en Excel y Programa SPSS 19.0 a partir de las cuales se elaborarán los cuadros y gráficos de barras y circulares para determinar el nivel de presencia de microorganismos que afectan la calidad de las aguas y establecer el Índice de Categoría de Riesgo para la Calidad del Agua (IRCA) de la Universidad de Santander campus Cúcuta.

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

4.1.1 Factores que afectan la calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-A, mediante revisión del cloro, temperatura y pH in situ.

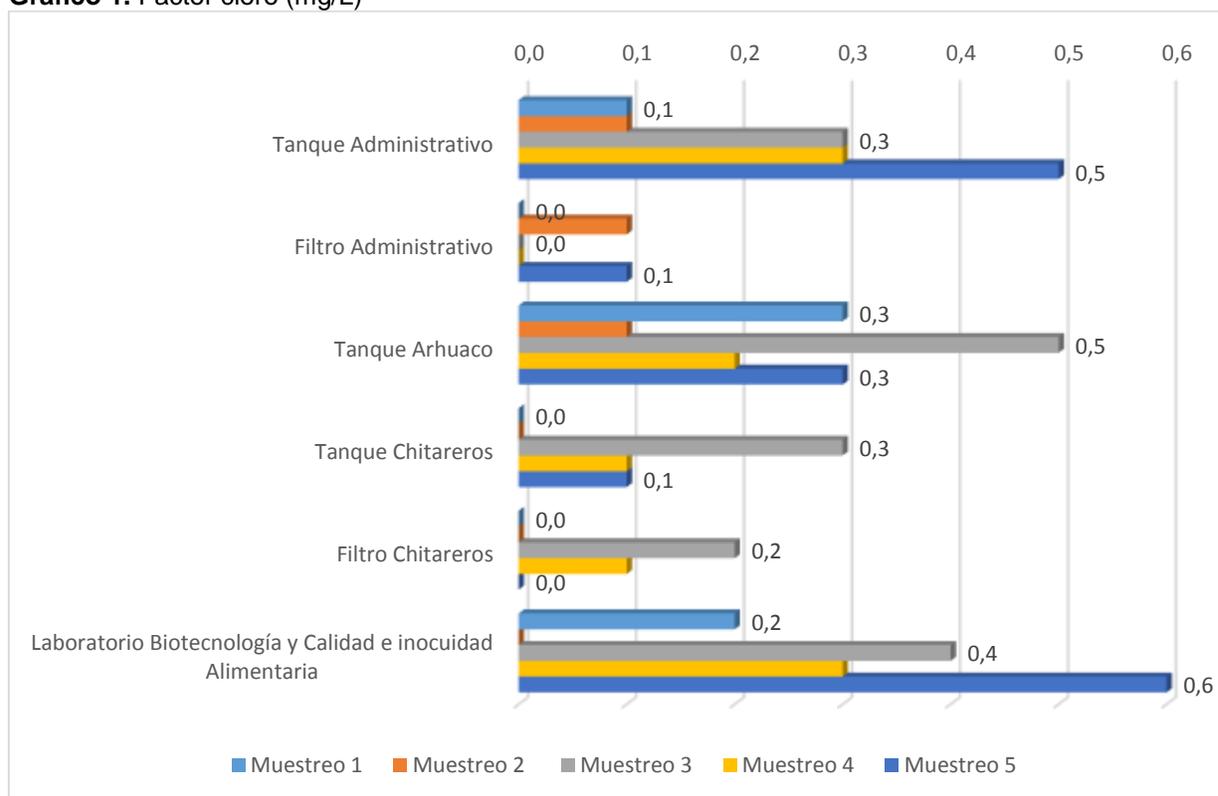
- Factor Cloro (mg/L)

Tabla 4. Factor cloro (mg/L)

N° de muestreo Lugar	Muestreo 1 (Junio 22)	Muestreo 2 (Junio 29)	Muestreo 3 (Julio 6)	Muestreo 4 (Agosto 10)	Muestreo 5 (Sep 02)
Tanque Administrativo	0.1	0.1	0.3	0.3	0.5
Filtro Administrativo	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
Tanque Arhuaco	0.3	0.1	0.5	0.2	0.3
Tanque Chitareros	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1
Filtro Chitareros	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0
Laboratorio Biotecnología y Calidad e inocuidad Alimentaria	0.2	0.0	0.4	0.3	0.6

Fuente: Chacón Derly y Combariza Jennifer 2021.

Gráfico 1. Factor cloro (mg/L)



Fuente: Chacón Derly, Combariza Jennifer 2021.

Los resultados del factor cloro (mg/L) que afectan la calidad microbiológica del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, determinan lo siguiente: se observan que, en el periodo del 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, en las diferentes muestras analizadas en cinco muestreos para cada una de los siguientes puntos *Tanque administrativo*, *Filtro administrativo*, *Tanque Arhuaco*, *Tanque Chitarero*, *Filtro Chitareros* determinaron que de los 30 muestreos realizados, nueve (9) resultados están entre 0.3 y 0.6, y veintiún (21) resultados están entre 0.0 y 0.2. En consecuencia, el 70% de los resultados de los mencionados muestreos No cumple con los parámetros establecidos según la Resolución 2115 del 2007, que establece que estos valores deben estar entre 0.3-2.0 mg/L. El 30% de los resultados entre 0.3 y 0.6 están dentro de los valores aceptados por la mencionada norma.

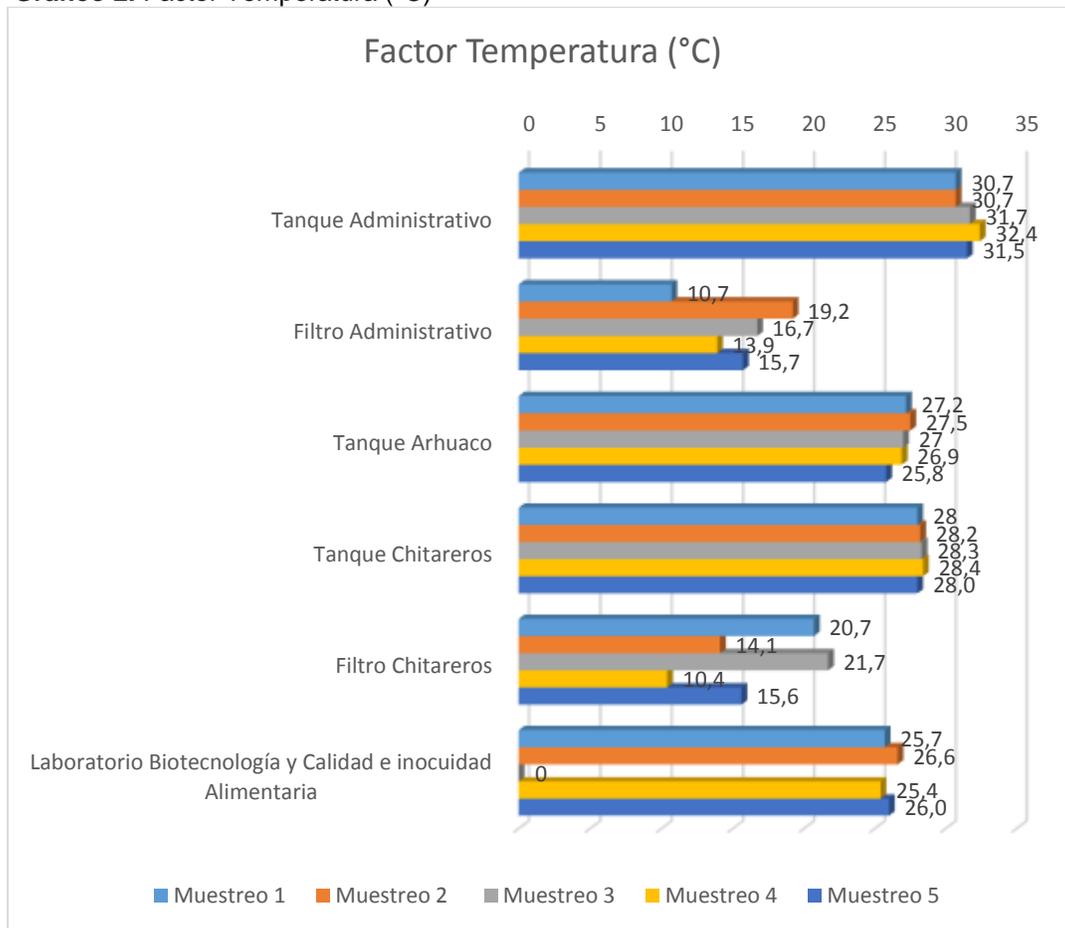
- **Factor Temperatura (°C)**

Tabla 5. Factor Temperatura (°C)

Lugar	N° de muestreo				
	Muestreo 1 (Junio 22)	Muestreo 2 (Junio 29)	Muestreo 3 (Julio 6)	Muestreo 4 (Agosto 10)	Muestreo 5 (Sep 02)
Tanque Administrativo	30.7	30.7	31.7	32.4	31.5
Filtro Administrativo	10.7	19.2	16.7	13.9	15.7
Tanque Arhuaco	27.2	27.5	27	26.9	25.8
Tanque Chitareros	28	28.2	28.3	28.4	28.0
Filtro Chitareros	20.7	14.1	21.7	10.4	15.6
Laboratorio Biotecnología y Calidad e inocuidad Alimentaria	25.7	26.6	27..2	25.4	26.0

Fuente: Chacón Derly y Combariza Jennifer 2021.

Gráfico 2. Factor Temperatura (°C)



Fuente: Chacón Derly y Combariza Jennifer 2021.

Los resultados del factor temperatura (°C) que afectan la calidad microbiológica del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio al dos de septiembre de 2021 en las 30 muestras, son los siguientes: (a) 15 muestras en tres puntos de tanques: con valor máximo de 32.4°C, y un valor mínimo de 25.8°C. Con un valor promedio de 28.8°C; (b) 10 muestras en dos puntos de filtros: con valor máximo de 21.7°C y un valor mínimo de 10.4°C. Con un valor promedio de 15.9°C; y (c) 5 muestras en un punto del Laboratorio Biotecnología y Calidad e inocuidad Alimentaria: con valor máximo de 27.2°C y un valor mínimo de 25.4°C. Con un valor promedio de 26.18°C. En síntesis, en las 30 muestras existe un valor mínimo de 10.4°C y un valor máximo de 32.4°C, con un promedio de 24°C.

- **Factor pH: (6,5-9,0)**

Tabla 6. Factor pH

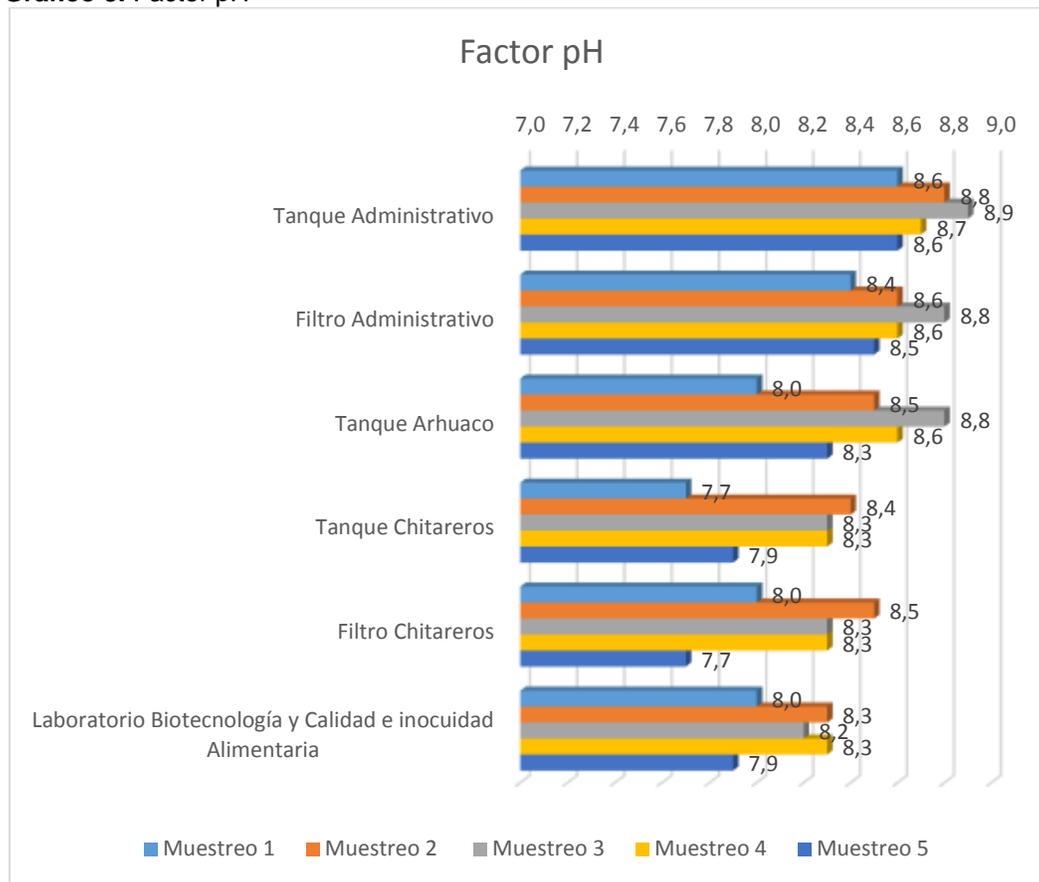
N° de muestreo Lugar	Muestreo 1 (Junio 22)	Muestreo 2 (Junio 29)	Muestreo 3 (Julio 6)	Muestreo 4 (Agosto 10)	Muestreo 5 (Sep 02)
Tanque Administrativo	8.6	8.8	8.9	8.7	8.6
Filtro Administrativo	8.4	8.6	8.8	8.6	8.5
Tanque Arhuaco	8.0	8.5	8.8	8.6	8.3
Tanque Chitareros	7.7	8.4	8.3	8.3	7.9
Filtro Chitareros	8.0	8.5	8.3	8.3	7.7
Laboratorio Biotecnología y Calidad e inocuidad Alimentaria	8.0	8.3	8.2	8.3	7.9

Fuente: Chacón Derly y Combariza Jennifer 2021.

Los resultados del factor pH que afectan la calidad microbiológica del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, se observó en las 30 muestras analizadas en cinco muestreos para cada una de los puntos *Tanque administrativo*, *Filtro administrativo*, *Tanque Arhuaco*, *Tanque Chitarero*, *Filtro Chitareros*, determinan lo siguiente: (a) dos muestreos con 7.7pH; (b) dos muestreos con 7.9pH; (c) tres muestreos con 8.0pH; (d) un muestreo con 8.2pH; (e) siete muestreos con 8.3; (f) dos muestreos con 8.4pH; (g) tres muestreos

con 8.5pH; (h) cinco muestreos con 8.6pH; (i) un muestreo con 8.7; (j) tres muestreos con 8.8pH; (k) un muestreo con 8.9. En síntesis, el 57% de los muestreos están entre 7.7pH y 8.4ph, el 43% de los muestreos están entre 8.5pH y 8.9pH.

Gráfico 3. Factor pH



Fuente: Chacón Derly y Combariza Jennifer 2021.

Los resultados del factor pH que afectan la calidad microbiológica del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, se observó en las 30 muestras analizadas en cinco muestreos para cada una de los puntos *Tanque administrativo*, *Filtro administrativo*, *Tanque Arhuaco*, *Tanque Chitarero*, *Filtro Chitareros*, determinan lo siguiente: (a) dos muestreos con 7.7pH; (b) dos muestreos con 7.9pH; (c) tres muestreos con 8.0pH; (d) un muestreo con 8.2pH; (e) siete muestreos con 8.3pH; (f) dos muestreos con 8.4ph; (g) tres muestreos con 8.5pH; (h) cinco muestreos con 8.6pH; (i) un muestreo con 8.7; (j) tres muestreos con 8.8pH; (k) un muestreo con 8.9. En síntesis, el 57% de los

muestreos están entre 7.7pH y 8.4pH, y el 43% de los muestreos están entre 8.5pH y 8.9pH. En consecuencia, el pH se encuentra dentro de los parámetros permitidos por la normativa para aguas potables lo cual está dentro del rango de 6.5-9.0

4.1.2 Nivel de calidad microbiológica del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-A., mediante métodos estandarizados de laboratorio.

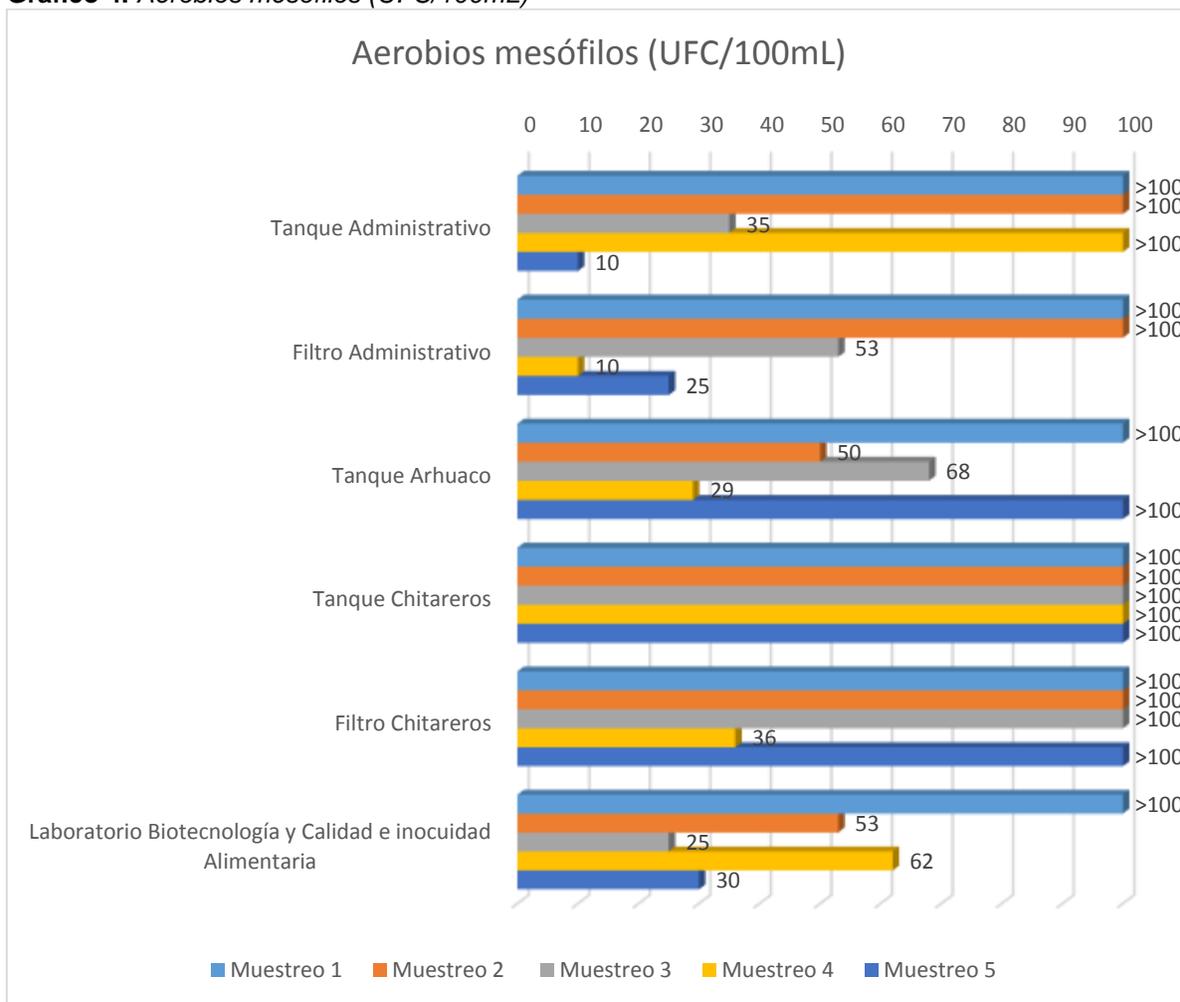
- ***Aerobios mesófilos (UFC/100mL)***

Tabla 7. *Aerobios mesófilos (UFC/100mL)*

N° de muestreo	Muestreo 1 (Junio 23)	Muestreo 2 (Junio 30)	Muestreo 3 (Julio 7)	Muestreo 4 (Agosto 11)	Muestreo 5 (Sep 03)
Lugar					
Tanque Administrativo	> 100	> 100	35	> 100	10
Filtro Administrativo	> 100	> 100	53	10	25
Tanque Arhuaco	> 100	50	68	29	> 100
Tanque Chitareros	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100
Filtro Chitareros	> 100	> 100	> 100	36	> 100
Laboratorio Biotecnología y Calidad e inocuidad Alimentaria	> 100	53	25	62	30

Fuente: Chacón Derly, Combariza Jennifer 2021.

Gráfico 4. Aerobios mesófilos (UFC/100mL)



Fuente: Chacón Derly, y Combariza Jennifer 2021.

Los resultados de *Aerobios mesófilos* (UFC/100ml) que afectan la calidad microbiológica del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, se observó lo siguiente: (a) 17 muestras mayor a 100 (UFC/100mL) y (b) 13 muestras menor a 100 (UFC/100mL). En síntesis, el 57% de las muestras es > 100 (UFC/100mL) y 43% de las muestras es <100 (UFC/100mL). En consecuencia, el 57% de presencia de *Aerobios mesofilos* en las muestras tomadas, con valores por encima de lo permitido según la normatividad nacional, resaltando en el tanque de almacenamiento Chitareros la presencia en los cinco muestreos obtenidos un valor mayor a 100 UFC/100mL, mientras que el 43% de muestras oscilan entre 10 y 68 UFC/100mL.

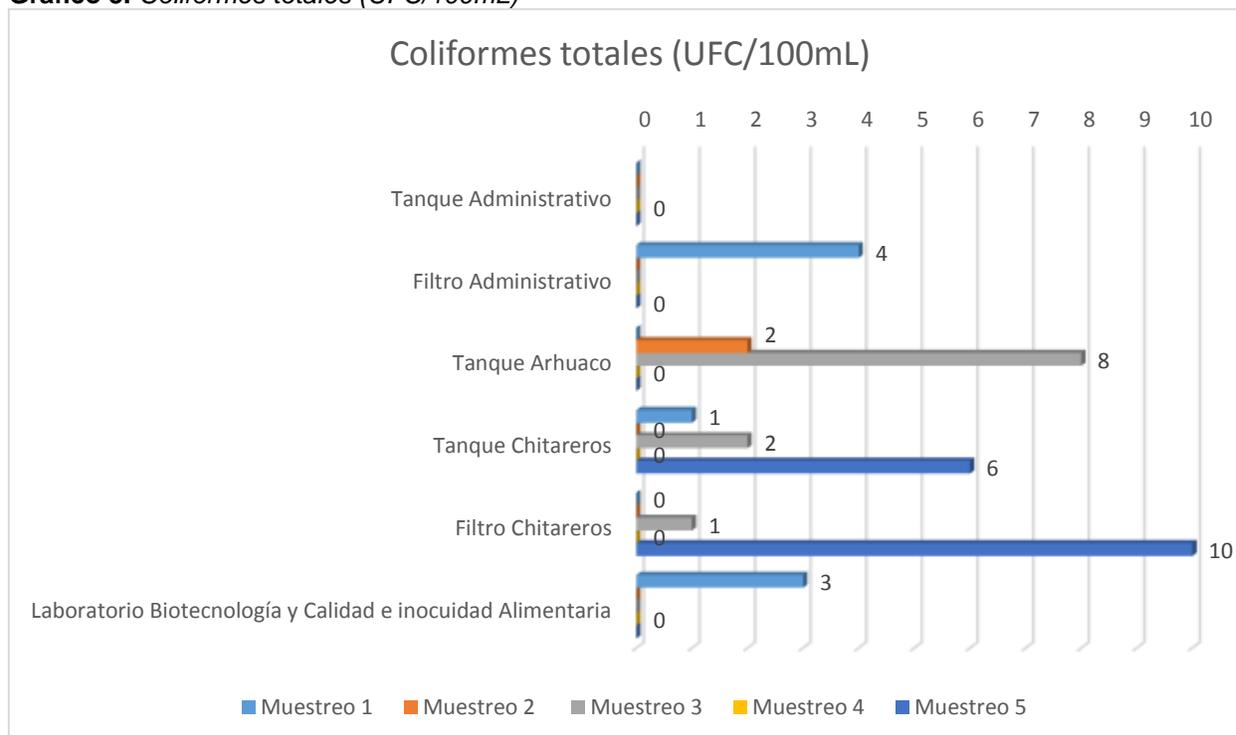
- **Coliformes totales (UFC/100 mL)**

Tabla 8. Coliformes totales (UFC/100mL)

Lugar	N° de muestreo				
	Muestreo 1 (Junio 23)	Muestreo 2 (Junio 30)	Muestreo 3 (Julio 7)	Muestreo 4 (Agosto 11)	Muestreo 5 (Sep 03)
Tanque Administrativo	0	0	0	0	0
Filtro Administrativo	4	0	0	0	0
Tanque Arhuaco	0	2	8	0	0
Tanque Chitareros	1	0	2	0	6
Filtro Chitareros	0	0	1	0	10
Laboratorio Biotecnología y Calidad e inocuidad Alimentaria	3	0	0	0	0

Fuente: Chacón Derly, Combariza Jennifer 2021.

Gráfico 5. Coliformes totales (UFC/100mL)



Fuente: Chacón Derly, y Combariza Jennifer 2021.

Los resultados de *coliformes totales* (UFC/100mL) que afectan la calidad microbiológica del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021

al dos de septiembre del 2021, se observó lo siguiente: (a) 21 muestras con 0 (UFC/100mL) y (b) 9 muestras con presencia de *coliformes totales*. En síntesis, se identificó en el 30% de las muestras el incumplimiento de la resolución 2115 de 2007 que establece como criterio de calidad el 0 UFC/100mL.

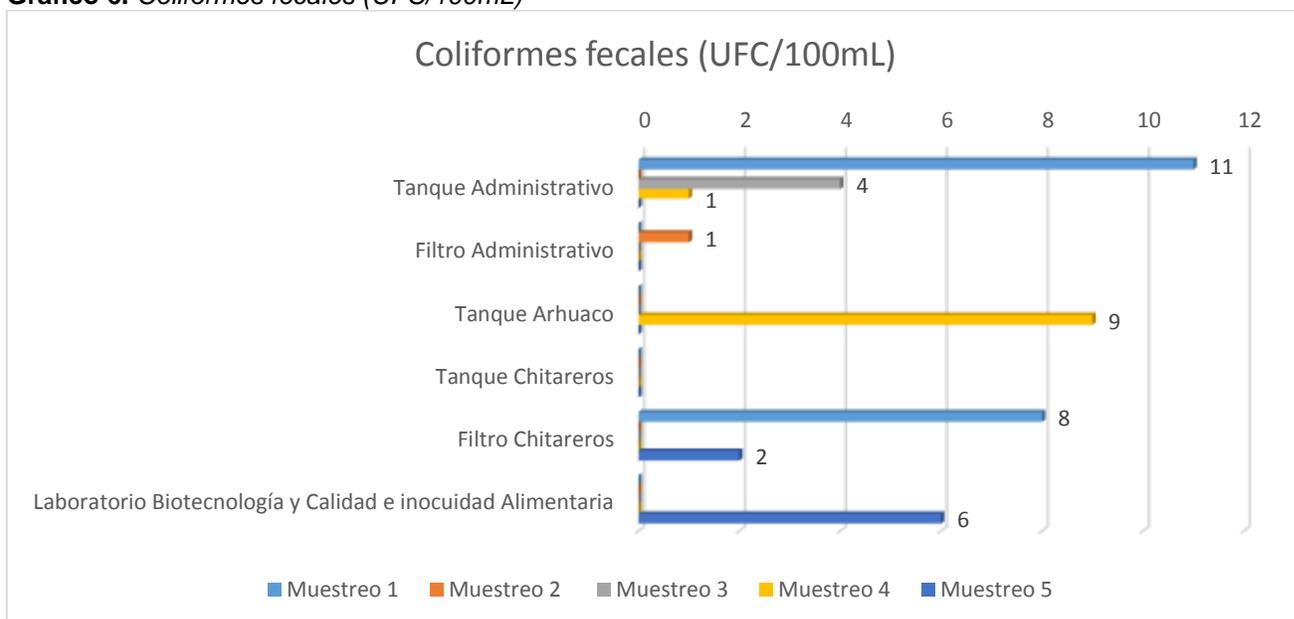
- **Coliformes fecales (UFC/100 mL)**

Tabla 9. Coliformes fecales (UFC/100mL)

Lugar	N° de muestreo				
	Muestreo 1 (Junio 23)	Muestreo 2 (Junio 30)	Muestreo 3 (Julio 7)	Muestreo 4 (Agosto 11)	Muestreo 5 (Sep 03)
Tanque Administrativo	11	0	4	1	0
Filtro Administrativo	0	1	0	0	0
Tanque Arhuaco	0	0	0	9	0
Tanque Chitareros	0	0	0	0	0
Filtro Chitareros	8	0	0	0	2
Laboratorio Biotecnología y Calidad e inocuidad Alimentaria	0	0	0	0	6

Fuente: Chacón Derly, y Combariza Jennifer 2021.

Gráfico 6. Coliformes fecales (UFC/100mL)



Fuente: Chacón Derly, Combariza Jennifer 2021.

Los resultados de *coliformes fecales* (UFC/100mL) que afectan la calidad microbiológica del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, se observó lo siguiente: (a) 22 muestras con 0 (UFC/100mL) y (b) 8 muestras con presencia de *coliformes fecales*. En síntesis, se identificó en el 27% de las muestras el incumplimiento de la resolución 2115 de 2007 que establece como criterio de calidad el 0 UFC/100mL. A excepción tanque Chitareros donde no hay presencia de contaminación fecal en ninguno de los cinco muestreos realizados.

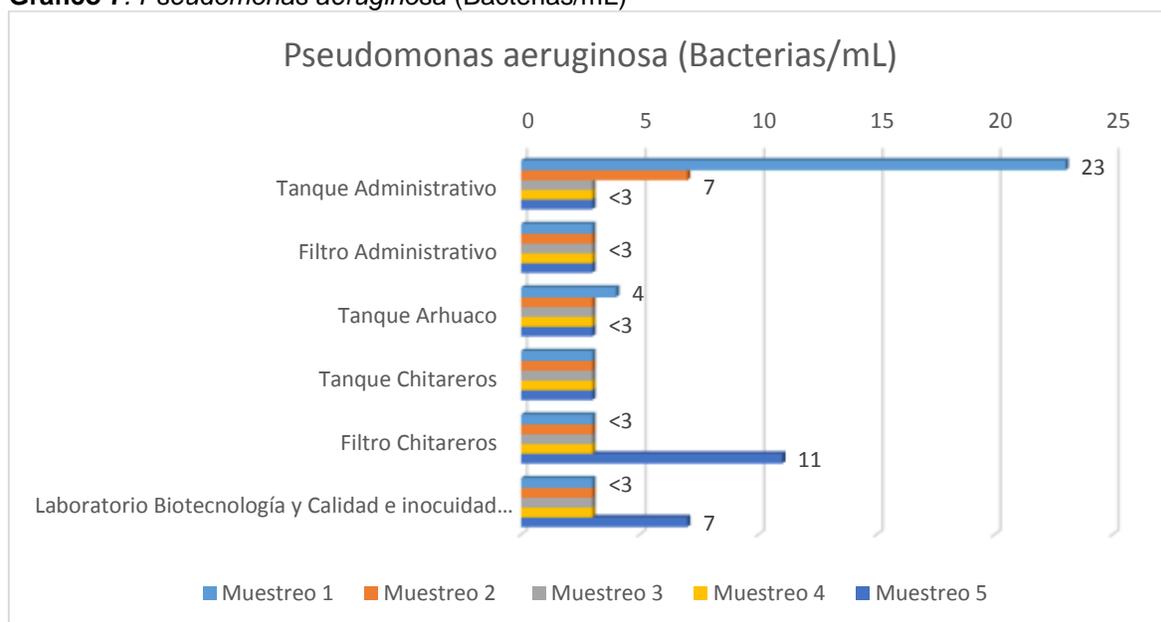
- ***Pseudomonas aeruginosa* (Bacterias/mL)**

Tabla 10. *Pseudomonas aeruginosa* (Bacterias/mL)

N° de muestreo Lugar	Muestreo 1 (Junio 23)	Muestreo 2 (Junio 30)	Muestreo 3 (Julio 7)	Muestreo 4 (Agosto 11)	Muestreo 5 (Sep 03)
Tanque Administrativo	23	7	<3	<3	<3
Filtro Administrativo	<3	<3	<3	<3	<3
Tanque Arhuaco	4	<3	<3	<3	<3
Tanque Chitareros	<3	<3	<3	<3	<3
Filtro Chitareros	<3	<3	<3	<3	11
Laboratorio Biotecnología y Calidad e inocuidad Alimentaria	<3	<3	<3	<3	7

Fuente: Chacón Derly, Combariza Jennifer 2021.

Gráfico 7. *Pseudomonas aeruginosa* (Bacterias/mL)



Fuente: Chacón Derly, y Combariza Jennifer 2021.

Los resultados de *Pseudomonas aeruginosa* (Bacterias/mL) que afectan la calidad microbiológica del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, se observó lo siguiente: (a) en cinco muestras existe presencia de *Pseudomonas aeruginosa*, y (b) en 25 muestras con <3 Bacterias/mL. En síntesis, un 17% de muestras se identificó la presencia *Pseudomonas aeruginosa* en el tanque administrativo, el tanque Arhuaco y el laboratorio de biotecnología y calidad e inocuidad alimentaria.

- ***Escherichia coli* (UFC/100mL)**

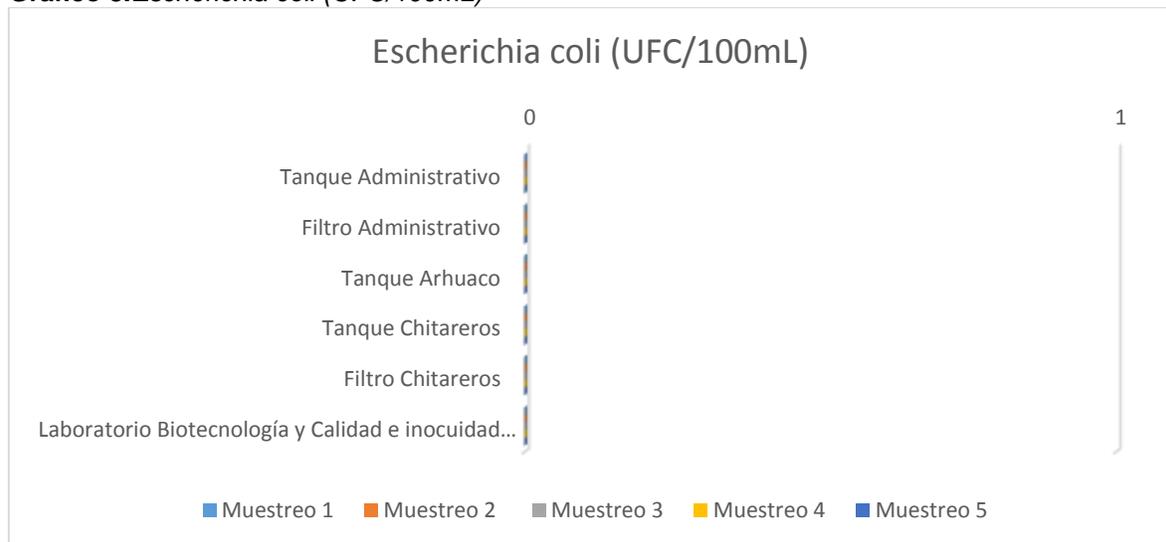
Tabla 11. *Escherichia coli* (UFC/100mL)

N° de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
Lugar	(Junio 23)	(Junio 30)	(Julio 7)	(Agosto 11)	(Sep 03)
Tanque Administrativo	0	0	0	0	0
Filtro Administrativo	0	0	0	0	0
Tanque Arhuaco	0	0	0	0	0
Tanque Chitareros	0	0	0	0	0
Filtro Chitareros	0	0	0	0	0

Laboratorio					
Biología y Calidad e inocuidad Alimentaria	0	0	0	0	0

Fuente: Chacón Derly, y Combariza Jennifer 2021.

Gráfico 8. *Escherichia coli* (UFC/100mL)



Fuente: Chacón Derly, y Combariza Jennifer 2021.

Los resultados de *Escherichia coli* (UFC/100mL) que afecta la calidad microbiológica del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, se observó lo siguiente: el 100% de las muestras presentan 0 UFC/100mL en todos los puntos del muestreo.

4.1.3 Índice de riesgo de calidad del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-A., mediante aplicación de procedimientos estadísticos.

Calculo Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano – IRCA

- **Tanque Administrativo**

Tabla 12. Tanque Administrativo

PARAMETROS		pH	Cloro	Coliformes Totales	<i>Escherichia Coli</i>
PUNTAJE DE RIESGO Decreto 2115		1,5	15	15	25
VALOR PERMISIBLE PARAMETROS		6,5-9,0	0,3-2,0mg/L	0 UFC/100mL	0 UFC/100mL
PRIMER MUESTREO		8,6	0,1	0	0
SEGUNDO MUESTREO		8,8	0,1	0	0
TERCER MUESTREO		8,9	0,3	0	0
CUARTO MUESTRO		8,7	0,3	0	0
QUINTO MUESTREO		8,6	0,5	0	0
IRCA	(%)	0	30	0	0
NIVEL DE RIESGO		SIN RIESGO	MEDIO	SIN RIESGO	SIN RIESGO

Fuente: Chacón Derly, y Combariza Jennifer 2021.

Los resultados del Índice de Riesgo de calidad del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, en el tanque administrativo se observó lo siguiente: (a) el pH, sin riesgo; (b) cloro, riesgo medio; (c) *coliformes totales* sin riesgo; y (d) *Escherichia coli*, sin riesgo. En síntesis, existe un nivel de riesgo medio de cloro en el tanque administrativo.

- **Filtro Administrativo**

Tabla 13. Filtro Administrativo

PARAMETROS		pH	Cloro	Coliformes Totales	<i>Escherichia Coli</i>
PUNTAJE DE RIESGO Decreto 2115		1,5	15	15	25
VALOR PERMISIBLE PARAMETROS		6,5-9,0	0,3-2,0mg/L	0 UFC/100mL	0 UFC/100mL
PRIMER MUESTREO		8,4	0,0	4	0
SEGUNDO MUESTREO		8,6	0,1	0	0
TERCER MUESTREO		8,8	0,0	0	0
CUARTO MUESTRO		8,6	0,0	0	0

QUINTO MUESTREO		8,5	0,1	0	0
IRCA	(%)	0	75	15	0
NIVEL DE RIESGO		SIN RIESGO	ALTO	MEDIO	SIN RIESGO

Fuente: Chacón Derly, y Combariza Jennifer 2021.

Los resultados del Índice de Riesgo de calidad del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, en el filtro administrativo se observó lo siguiente: (a) el pH, sin riesgo; (b) cloro, riesgo alto; (c) coliformes totales riesgo medio; y (d) *Escherichia coli*, sin riesgo. En síntesis, existe un nivel de riesgo alto de cloro y nivel de riesgo medio en *Coliformes totales* en el filtro administrativo.

- **Tanque Arhuaco**

Tabla 14. Tanque Arhuaco

PARAMETROS		pH	Cloro	Coliformes Totales	<i>Escherichia Coli</i>
PUNTAJE DE RIESGO Decreto 2115		1,5	15	15	25
VALOR PERMISIBLE PARAMETROS		6,5-9,0	0,3-2,0mg/L	0 UFC/100mL	0 UFC/100mL
PRIMER MUESTREO		8,0	0,3	0	0
SEGUNDO MUESTREO		8,5	0,1	2	0
TERCER MUESTREO		8,8	0,5	8	0
CUARTO MUESTRO		8,6	0,2	0	0
QUINTO MUESTREO		8,3	0,3	0	0
IRCA	(%)	0	30	30	0
NIVEL DE RIESGO		SIN RIESGO	MEDIO	MEDIO	SIN RIESGO

Fuente: Chacón Derly, Combariza Jennifer 2021.

Los resultados del Índice de Riesgo de calidad del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, en el Tanque Arhuaco se observó lo siguiente: (a) el pH, sin riesgo; (b) cloro, riesgo medio; (c)

coliformes totales riesgo medio; y (d) *Escherichia coli*, sin riesgo. En síntesis, existe un nivel de riesgo medio cloro y *coliformes totales* en el tanque Arhuaco.

- **Tanque Chitareros**

Tabla 15. Tanque Chitareros

PARAMETROS	pH	Cloro	Coliformes Totales	<i>Escherichia Coli</i>
PUNTAJE DE RIESGO Decreto 2115	1,5	15	15	25
VALOR PERMISIBLE PARAMETROS	6,5-9,0	0,3-2,0mg/L	0 UFC/100mL	0 UFC/100mL
PRIMER MUESTREO	7,7	0,0	1	0
SEGUNDO MUESTREO	8,4	0,0	0	0
TERCER MUESTREO	8,3	0,3	2	0
CUARTO MUESTRO	8,3	0,1	0	0
QUINTO MUESTREO	7,9	0,1	6	0
IRCA (%)	0	60	45	0
NIVEL DE RIESGO	SIN RIESGO	ALTO	ALTO	SIN RIESGO

Fuente: Chacón Derly, Combariza Jennifer 2021.

Los resultados del Índice de Riesgo de calidad del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, en el Tanque Chitareros se observó lo siguiente: (a) el pH, sin riesgo; (b) cloro, riesgo alto; (c) coliformes totales riesgo alto; y (d) *Escherichia coli*, sin riesgo. En síntesis, existe un nivel de riesgo alto en cloro y *coliformes totales* en el tanque Chitareros.

- **Filtro Chitareros**

Tabla 16. Filtro Chitareros

PARAMETROS	pH	Cloro	Coliformes Totales	<i>Escherichia Coli</i>
PUNTAJE DE RIESGO Decreto 2115	1,5	15	15	25

VALOR PERMISIBLE PARAMETROS		6,5-9,0	0,3- 2,0mg/L	0 UFC/100mL	0 UFC/100mL
PRIMER MUESTREO		8,0	0,0	0	0
SEGUNDO MUESTREO		8,5	0,0	0	0
TERCER MUESTREO		8,3	0,2	1	0
CUARTO MUESTRO		8,3	0,1	0	0
QUINTO MUESTREO		7,7	0,0	10	0
IRCA	(%)	0	75	30	0
NIVEL DE RIESGO		SIN RIESGO	ALTO	MEDIO	SIN RIESGO

Fuente: Chacón Derly, y Combariza Jennifer 2021.

Los resultados del Índice de Riesgo de calidad del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, en el filtro Chitareros se observó lo siguiente: (a) el pH, sin riesgo; (b) cloro, riesgo alto; (c) coliformes totales riesgo medio; y (d) *Escherichia coli*, sin riesgo. En síntesis, existe un nivel de riesgo alto en cloro y nivel de riesgo medio en *coliformes totales* en el filtro Chitareros.

- **Laboratorio Biotecnología y Calidad e Inocuidad Alimentaria**

Tabla 17. Laboratorio Biotecnología y Calidad e Inocuidad Alimentaria

PARAMETROS	pH	Cloro	Coliformes Totales	<i>Escherichia Coli</i>
PUNTAJE DE RIESGO Decreto 2115	1,5	15	15	25
VALOR PERMISIBLE PARAMETROS	6,5-9,0	0,3-2,0mg/L	0 UFC/100mL	0 UFC/100mL
PRIMER MUESTREO	8,0	0,2	3	0
SEGUNDO MUESTREO	8,3	0,0	0	0
TERCER MUESTREO	8,2	0,4	0	0
CUARTO MUESTRO	8,3	0,3	0	0
QUINTO MUESTREO	7,9	0,6	0	0
IRCA	(%)	0	30	15
NIVEL DE RIESGO	SIN RIESGO	MEDIO	MEDIO	SIN RIESGO

Fuente: Chacón Derly, Combariza Jennifer 2021.

Los resultados del Índice de Riesgo de calidad del agua en la UDES-Cúcuta 2021-A, en el lapso 22 de junio del 2021 al dos de septiembre del 2021, en el Laboratorio Biotecnología y Calidad e Inocuidad Alimentaria, se observó lo siguiente: (a) el pH, sin riesgo; (b) cloro, riesgo medio; (c) coliformes totales riesgo medio; y (d) *Escherichia coli*, sin riesgo. En síntesis, existe un nivel de riesgo medio en cloro y nivel de riesgo medio en *coliformes totales* en el Laboratorio Biotecnología y calidad e inocuidad alimentaria.

4.2 DISCUSIÓN

Con los resultados obtenidos durante este estudio se concluye que la calidad microbiológica del agua de los puntos de muestreos de tanques, filtros y laboratorio de Biotecnología calidad e inocuidad alimentaria se encuentra afectada por *Aerobios Mesofilos*, *coliformes totales*, *coliformes fecales* y *Pseudomonas spp*, corroborándose la hipótesis de investigación.

Los aerobios mesofilos en un 57% de las muestras presentan valores superiores a 100 UFC/100ml, también los coliformes totales el 30% de las muestras incumplen con lo establecido en la resolución 2115 de 2007 del 0 UFC/100mL; así mismo las coliformes fecales están en el 27% de las muestras; y en un 17% de muestras se identificó la presencia *Pseudomonas aeruginosa*.

La presencia de contaminantes bacterianos en las pruebas realizadas es coherente con los hallazgos obtenidos en el estudio realizado por Narváez, Rivera, Tello, y Narváez (57) en Neiva en el que se determinó respecto a los análisis bacteriológicos, la presencia de Coliformes Totales, valores positivos para tres de las ocho muestras analizadas. Con resultado de un valor de 1 UFC para cada muestra, considerado como grave por los efectos adversos de las mencionadas bacterias en la salud humana. La explicación a estos resultados es el incremento en los usuarios del servicio, también al aumentar uso del agua, por la transferencia ocurrida por los alimentos, las manos, los utensilios o ropa contaminada, que ocurre por una incorrecta higiene.

También hay coherencia con los resultados de Marchand (58) en Lima-Perú quien determinó en su estudio el 17,86% de muestras analizadas presentaron contaminación microbiológica principalmente por Coliformes Totales en un setenta por ciento (70%) y Coliformes fecales en un cincuenta y dos por ciento (52,50%). También halló *Pseudomonas aeruginosa* en ocho, punto tres por ciento (8,3%) de muestras de los inmuebles. En un cuarenta y cuatro, punto cuarenta y cuatro por ciento (44,44%) de muestras se halló presencia compartida entre *Pseudomonas aeruginosa* y coliformes y un cincuenta y cinco, punto cincuenta y cinco por ciento (55,55%) de presencia de *Pseudomonas aeruginosa* y ausencia de coliformes.

El hallazgo de *Pseudomonas aeruginosa* en balones de agua destilada de hospitales y su presencia en reservorios de agua potable con mayor frecuencia y en concentraciones más elevadas que las detectadas en los sistemas de distribución, ha sido atribuido a la posible multiplicación y mayor supervivencia de la misma, en relación con las demás bacterias comúnmente aisladas del agua.

Se ha demostrado que *Pseudomonas aeruginosa* es capaz de sobrevivir y multiplicarse en aguas tratadas, esto debido a una densa capa polisacárida la cual establece una barrera no solo física sino química capaz de proteger a la bacteria de las moléculas e iones de Cloro libre residual (58).

Por otra parte, los resultados de este estudio difieren a los hallazgos de Silva (52) quien en su estudio realizado en la Universidad de Santander UDES Cúcuta respecto a la calidad microbiológica en los ambientes de los laboratorios señala que “el único indicador no hallado fue el de *Pseudomonas spp.*” (59).

La Normatividad nacional es decir la Resolución 2115 del 2007 establece unos parámetros microbiológicos los cuales garantiza la calidad del agua potable, los resultados obtenidos en esta investigación se evidencia un bajo cumplimiento de esta norma por parte de la universidad de Santander udes Cúcuta por que en los 5 muestreos realizados hubo un alto promedio de microorganismos indicadores poniendo en evidencia fallas en cuanto a limpieza y desinfección.

En cuanto al Cloro en este estudio el 70% de los resultados de los muestreos realizados esta fuera de los parámetros establecidos por la Resolución 2115 del

2007, que establece que estos valores deben estar entre 0.3-2.0 mg/L. Estos resultados son coherentes con los hallazgos de Tinoco (53) quien realizó un estudio en la Universidad Santiago de Cali para determinar los niveles de cloro residual libre en la red de distribución de agua potable en la universidad, en la que realizó mediciones de cloro residual libre en sesenta y cuatro depósitos de agua del campus universitario y sus resultados fueron, los siguientes:

Existen siete depósitos que no cumplen en ninguno de los 5 monitoreos mensuales realizados con los límites establecidos por la norma en cuanto al cloro libre residual. Las variaciones que se tienen en los niveles de cloro residual, aún en el agua de aquellos depósitos que pertenecen al mismo sector hidráulico, son atribuibles a las condiciones de limpieza, operación y uso de las mismas, así como a las fluctuaciones de cloro residual en la red de distribución. Se puede concluir que el agua de los depósitos que operan bajo condiciones normales no cumple con los requerimientos de norma con respecto a los niveles de cloro (60)

Estos resultados difieren de los hallazgos de Jiménez (61) quien realizó el estudio de control y seguimiento del agua de la empresa de Servicios Córcega de la Ciudad de Pereira en sus observaciones realizó las mediciones de cloro residual libre en los procesos de desinfección del agua potable en el que se determinó el “cumplimiento de los rangos permitidos por la Resolución 2115 de 2007, la Resolución 0811 de 2008 y el Decreto 1575 de 2007 normatividad para el agua tratada” (61).

En cuanto al Índice de riesgo de calidad del agua en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2021-A., se determinó que existe un nivel de riesgo alto en un 50% y riesgo medio en un 50% de Cloro, *Coliformes totales* un nivel de riesgo medio en un 60% y alto riesgo en un 20% y sin riesgo el pH y *Escherichia coli*. Estos resultados presentan semejanzas y diferencias con el estudio realizado por Acevedo, Duran y Betancur (55) quienes, en su estudio para determinar la calidad microbiológica del agua en dos instituciones de salud del eje cafetero, Colombia hallaron diferencias entre la institución uno y la institución dos, como se observa a continuación:

En la institución número 2 se cuenta con todos los requerimientos microbiológicos requeridos para tener un agua totalmente potable y viable sanitariamente. La institución 1 en el área de hospitalización cuenta con parámetros por fuera de los estipulados en la norma, siendo un agua no potable e inviable sanitariamente (62).

La explicación a este resultado de agua no potable es posible que ocurra por la alta proporción de Mohos y levaduras en la institución número 1, esto puede ocurrir por la ubicación y las distribuciones de los sistemas de alcantarillados internos de la institución de salud, donde el agua no se distribuye de manera directa a toda la institución. El ingreso de las aguas se produce de manera directa a los tanques que la almacenan ubicados en el sótano, cerrados y en condiciones de alta humedad y prevalencia de mohos y levaduras, ambientes propicios para el crecimiento de los mencionados microorganismos. Para futuras las investigaciones recomiendan tomar en cuenta la distribución y toma de muestras de tanques de almacenamiento y también sus condiciones físicas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Del análisis e interpretación y discusión de los resultados se concluye lo siguiente:

- 1) Se determinó que, en el agua en los puntos de muestreo de tanques y filtros administrativos, tanque arhuaco, Chitarero y filtro Chitarero y el laboratorio de Biotecnología, calidad e inocuidad alimentaria no cumplen con los parámetros establecidos por la resolución 2115 del 2007, lo cual implica un nivel de riesgo para la salud de quienes consumen agua en la UDES Campus Cúcuta.
- 2) Se halló que el pH y *Escherichia Coli* cumplen con los parámetros en los diferentes puntos de muestreos mencionados, por tanto, no representan riesgo que afecte la calidad del agua de consumo humano en la comunidad universitaria.
- 3) Se determinó que el índice de riesgo de calidad del agua en la Universidad de Santander es de alto y medio riesgo en cuanto al cloro y *coliformes totales*, por tanto, su consumo tiene una alta potencialidad de afectar la salud del consumidor en la UDES campus Cúcuta.
- 4) Se logró identificar que los factores, como el cloro, principalmente, afecta la calidad del agua, en los puntos al hallarse en tanques y filtros, un 70% de los lugares muestreados no presentaron cloro.
- 5) Se determinó el nivel de calidad Microbiológica, hallando cero recuentos para *coliformes totales* y *fecales* en la mayoría de los muestreos obtenidos, pero hubo hallazgos de mesófilos, en un 57% por encima de los límites permitidos por la Resolución 2115 del 2007.
- 6) Se logró demostrar que existe un inadecuado mantenimiento de limpieza y desinfección en los tanques de almacenamiento en la UDES campus Cúcuta lo que conlleva al crecimiento de microorganismos patógenos afectando la calidad del agua de consumo humano.

5.2 RECOMENDACIONES

De la discusión y conclusiones de la investigación se recomienda lo siguiente:

- 1) A los grupos de investigación de la universidad se sugiere realizar una investigación a nivel experimental realizando un análisis microbiológico cada 6 meses al agua en el que se estudien todos los indicadores de calidad del agua aplicando los parámetros nacionales e internacionales.
- 2) A la Universidad de Santander Campus Cúcuta se sugiere realizar mantenimientos de limpieza y desinfección de los tanques mínimo cada tres meses para evitar crecimiento de microorganismos patógenos.
- 3) A la Universidad de Santander Campus Cúcuta se sugiere implementar un plan de mejora continua de calidad del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Ministerio de Protección Social. Resolución Conjunta 2115. Diario Oficial, 4679; 2007.
2. Organización Mundial de la Salud. Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva. 2011;(1-564).
3. Ríos Tobón S. ACRGBL. Pátogenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev. Fac. Nac. Salud Pública. 2017; 35(2: 236-247).
4. Núñez Estébanez N. ySRD. microorganismos patógenos del agua: estudio de Molinao Erreka. 2009;((13): 69–76.).
5. Barceló D. yLdAM. Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes.. Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC. (s.f.);(1-26.).
6. Gil MJ. SA,UJ,yGO. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos.. Producción + Limpia. 2012; 7((2): 52-73).
7. Briñez KJ. GJ,yAS. Calidad del agua para consumo humano en el Departamento del Tolima. Rev. Fac. Nac. Salud Pública. 2012; 30(30 (2): 175-182.).
8. Organización de las Naciones Unidas. Informe de política de ONU-Agua: Calidad del agua.. 2011;(1-22.).
9. Bracho Fernández IA. y Fernández Rodríguez M. Minería y Geología. 2017; 33((3): 341-352.).
10. Guzmán BL. NG,yDP. La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. Biomédica. 2008 2015; 35((2):177-90.).
11. Ministerio de Salud y Protección Social. Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano. 2019;(1-250.).

12. Beltrán Sarmiento D. yLCK. Análisis de la calidad microbiológica del agua de consumo de la Universidad de Santander Campus Cúcuta 2018-A. Cúcuta;; 2018. Report No.: .
13. Piguave Reyes JM. CGM,MAA,VSF,PPM,AÁJ. Calidad microbiológica del agua subterránea como riesgo epidemiológico en la producción de enfermedad diarreica infantil. Revisión Sistemática-. Kasma. 2019; 47((2): 153-173).
14. RF- CR. Evaluación de la Calidad del Agua para consumo humano en Comas (Lima), Quispicanchis (Cusco) y Coronel Portillo (Ucayali) durante el 2017. [Internet]. Lima: Universidad Ricardo Palma.. Trabajo de Grado. ; 2019.
15. VC. SM. Caracterización de Aguas Residuales en la Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña Del Mar José Miguel Carrera. Universidad Técnica Federico Santa María. Chile;; 2018. Report No.: .
16. Quinteros E. yMR. Calidad microbiológica de agua envasada en El Salvador 2014-2015. Alerta. 2018; 1((1): 26-34.).
17. Méndez Novelo RI. PÁJ,CBER,CSA,VBE,yCVD. Calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatán, México. Rev. Acad. de la Fac. de Ing.. 2015; 19((1): 51-61.).
18. Valenzuela E. GR,AL,yBM. Calidad microbiológica del agua de un área agrícola-ganadera del centro sur de Chile y su posible implicancia en la salud humana.. Rev. Chilena Infectol. 2012; 29((6): 628-634.).
19. AC. GNJyMC. Análisis de la Calidad de Agua para consumo humano en el corregimiento de la Peña-Atlántico y determinación del riesgo potencial para la Salud Humana.. Trabajo de Grado.. Barranquilla : Universidad de la Costa; 2017.
20. Acevedo Osorio GO. DOP,BC. Calidad microbiológica del agua en dos instituciones de salud del eje cafetero, Colombia 2015. Arch Med. 2016; 16((2):246-56.).

21. Venegas C MMCC. Evaluación de la calidad microbiológica del agua para consumo y del agua residual en una población de Bogotá. Revista Biosalud. 2014; 13((2): 24-35.).
22. Moscarella M,GF,yPC. Calidad Microbiológica del Agua de la Bahía de Santa Marta, Colombia.. Dyna.. 2011; 78((67): 132-141.).
23. H.Y. RC. actores Bióticos de la Contaminación del Agua de Consumo Humano en la Universidad de Santander UDES Cúcuta 2018 B. Trabajo de Grado. Cúcuta: Universidad de Santander ; 2018.
24. Miranda Sanguino R. RMR,yACW. Análisis microbiológico de la calidad del agua del río Algodonal en el tramo comprendido entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander.. Revista Ingenio UFPSO. 2016; 11(11 (1): 189-200.).
25. García M. SF,MR,GH,VN,DE,ea. El Agua. In Instituto de Hidrología MyEA(El Medio Ambiente en Colombia. Bogotá: Pablo Leyva; 2001.
26. A. FC. El agua: un recurso esencial. Química Viva. 2012; 11((3):147-170.).
27. Comité de Seguridad Alimentaria Mundial (CSA). Informe de del Grupo de alto nivel de expertos. ; 2015. Report No.: N° 9: 1-155..
28. RT P. El valor del agua. Invenio. 2008; 11((20): 7-10.).
29. G. TM. El Agua en la Industria Alimentaria.. Producción Animal. 2016;(1-6.).
30. Academia. K. Esquema del Ciclo Vital del Agua: Etecé; 2021.
31. Vera C. yCI. El Ciclo del Agua.. Explora. (s.f.);(1-16.).
32. NC. CC. Tratamiento de agua para consumo humano.. Ingeniería Industrial. 2011;((29): 153-170.).
33. Grupo TAR.. Tratamiento de Potabilización del Agua. Tar Innova; (s.f. Report No.: .
34. D. B. Almacenamiento y manejo seguro del agua.. ; 2018.
35. LR P. Tanque de Almacenamiento. ; 2018.

36. L. AV. Almacenamiento y regulación de agua en el sistema de distribución.. ; 2017.
37. Organización Mundial de la Salud (OMS) y Organización Panamericana de la Salud (OPS).. Limpieza y desinfección de los tanques de almacenamiento de agua. Guía Técnica N° 3. ; 2009. Report No.: 1-4.
38. Hanna Instruments.. Medición Insitu de Parámetros en Aguas. ; (s.f.).
39. Bolívar Industrial, Ambiental Laboratorios.. Análisis de agua: ¿en qué consiste y para qué sirve?. ; 2019.
40. AQM Laboratorios. Análisis de aguas de consumo y prepotables. ; (s.f.).
41. Paulino C. AM,PR,BM. La contaminación biológica del agua y la desinfección solar.. Ciencia e Investigación. 2010; 60(60 (4): 1-17.).
42. Obregón Dionicio DC. yZCZ. Evaluación microbiológica (aerobios mesófilos, bacillus cereus y staphylococcus aureus) y químico - toxicológica de metales pesados (pb, hg) en leche para consumo humano en el distrito de Puente Piedra-Lima. Trabajo de Grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.; 2017.
43. Silva J. RL,AA,RG,ySM. Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo. Venezuela. Rev. Soc. Ven. Microbiol.. 2004; 24((1-2): 46-49.).
44. Poveda MD. BH,GG. Determinación de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales) en los tanques de abastecimiento de agua de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Sedes Macarena a y b.. Revista Científica.. 2010;((12): 63-73).
45. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Calidad del Agua. Normatividad- Reporte de información al SUI-Diagnóstico nacional.. ; 2017.
46. Universidad Industrial de Santander. Programa de Monitoreo de Agua Potable-BPM. Resolución N° 493. ; 2018.

47. Rojas Vargas JF. RMV,yCVD. Calidad del Agua. Normatividad- Reporte de información al SUI-Diagnóstico nacional.. ; 2017.
48. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Demografía y Población.. ; 2018.
49. Arias F. El Proyecto de Investigación. 6th ed. Caracas : Episteme; 2012.
50. Hernández Sampieri R,FCC,yBLP. Metodología de la Investigación. 6th ed. México: McGrawHill; 2014.
51. Lerma González HD. Metodología de la Investigación: propuesta, anteproyecto y proyecto.. 4th ed. Bogotá: Ecoe Ediciones; 2009.
52. Supo Condori JyZVH. Metodología de Investigación Científica. 3rd ed. Arequipa, Perú: Bioestadístico EEDU EIR; 2020.
53. Ñaupas Paitán H. MME,NRE,VPA. Metodología de la Investigación: Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis. 4th ed. Bogotá: Ediciones de la U; 2014.
54. L. NQ. Metodología de la Investigación: estadística aplicada a la investigación. Lima: MACRO E.I.R.L.; 2010.
55. CE. MÁ. Metodología: diseño y desarrollo del proceso de investigación.. 3rd ed. Bogotá: : McGrawHill; 2001.
56. MN. MS. La Investigación aplicada a proyectos.Volumen II. De los objetivos al diseño metodológico de la investigación. Bogotá: : Caye; 2014.
57. Narvárez Chamorro LE. RAL,TRL,yNZL. Calidad sanitaria del agua potable consumida en la sede central de la Universidad Surcolombiana. Entornos. 2017; 30((19): 99-106.).
58. EO. MP. Microorganismos Indicadores de la Calidad del Agua de Consumo Humano en Lima Metropolitana.. Trabajo de Grado. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2002.
59. J. SM. Determinación de la Calidad Microbiológica en los Ambientes de los Laboratorios de la Universidad de Santander Campus Cúcuta en el 2018. Trabajo de Grado. Cúcuta:; 2018. Report No.: .

60. J. TR. Niveles de cloro residual libre en la red de distribución de agua potable en una Institución de Educación Superior en la ciudad de Cali en el año 2019. Cali: Universidad Santiago de Cali.; 2019.
61. Jiménez Trujillo A. Control y Seguimiento a la Calidad del Agua de la Empresa de Servicios Tribunas Córcega (E.S.P) de la Ciudad de Pereira. Trabajo de Grado. Universidad Tecnológica de Pereira. ; 2011. Report No.: .
62. Acevedo Osorio G,DOP, Betancur C. Calidad microbiológica del agua en dos instituciones de salud del eje cafetero, Colombia 2015. Archivos de Medicina. 2016; 16((2): 246-256).

ANEXOS

Preparación de Materiales y Toma de Muestras



Procedimiento e Interpretación de Resultados, y Lectura con Luz Ultravioleta para Pseudomonas con el Método Número Más Probable. Parte I.



Procedimiento e Interpretación de Resultados, y Lectura con Luz Ultravioleta para Pseudomonas con el Método Número Más Probable. Parte II.

