



**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ.**

**Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.**

**Escuela de Biología.**

**DETECCIÓN DE INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL Y  
*PSEUDOMONAS* EN MUESTRAS DE AGUA CRUDA Y TRATADA DE LAS  
PLANTAS POTABILIZADORAS DE CHILIBRE Y MIRAFLORES DE PANAMÁ**

Elaborado por:

Elizabeth I. Mariscal C.

Yitxy del C. Vallester.

Trabajo de graduación presentado a la Escuela de Biología como requisito parcial para optar por el título de Licenciado en Biología con Orientación en Microbiología y Parasitología

2021

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres quienes me han dado lo más apreciado que es una educación, haberme dado sus consejos y apoyo incondicional a lo largo de la carrera.

A mis amigos y sobre todo, a los más allegados quienes formaron parte de todo el proceso en la carrera, que me dieron su apoyo y amistad.

Elizabeth M.

A mi madre, que se ha esforzado para darme lo mejor y que yo cumpla mis sueños.

A Liza que desde el inicio en la carrera ha sido como una segunda madre para mí, apoyándome y alentándome a continuar.

A mis amigos que me escucharon desvariar por horas sobre los resultados de la investigación, son los mejores.

Yitxy V.

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro asesor el Mgter. Humberto Cornejo por su apoyo, tiempo brindado, por escucharnos y brindar su asesoramiento.

A nuestro asesor el Dr. Alex O. Martínez Torres, por darnos esta oportunidad de formar parte de este proyecto, dedicar su tiempo y asesoramiento.

A nuestro asesor el Mgter. Fermín Mejía por darnos su apoyo y conocimiento aportados para mejorar nuestro trabajo.

A la CMSc. Yeimisol Madrid y a la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación por apoyarnos con los fondos y permitirnos realizar este estudio.

Al profesor Mendieta por brindarnos sus conocimientos y apoyo en el análisis estadístico.

A todo el Departamento de Microbiología y Parasitología por haber estado con nosotros a lo largo de nuestra carrera y por formarnos como futuros profesionales de este país.

Elizabeth M. y Yitxy V.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	VIII
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	X
<b>RESUMEN</b> .....	XIII
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	XIX
<b>CAPÍTULO I</b> .....	22
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	22
1. Antecedentes .....	23
1.1 Potabilizadoras .....	24
1.1.1. Etapas de la potabilización del agua .....	24
1.2 Potabilizadora de Miraflores .....	26
1.3 Potabilizadora Federico Guardia Conte .....	27
1.4 Método de filtro de membrana .....	27
1.4.1 Fundamento del método de filtro de membrana .....	28
1.4.2 Características del filtro de membrana .....	28
1.4.3 Ventajas y desventajas del método de filtración por membrana .....	28
1.4.4 Expresión de los Resultados .....	29
1.5 Microorganismos como indicadores de la calidad del agua .....	29
1.5.1 Criterios que deben reunir un microorganismo indicador de la contaminación en el agua: .....	30
1.6 Bacterias coliformes como indicadores de contaminación. ....	31
1.6.1 Coliformes Totales .....	31

1.6.2 Coliformes Termotolerantes o Fecales .....	32
1.6.2.1 <i>E. coli</i> .....	32
1.7 Recuento total de Heterótrofos .....	33
1.8 <i>Pseudomonas sp.</i> .....	33
1.9 Normas de calidad de agua en Panamá .....	34
1.9.1 Reglamento de la calidad de agua para consumo humano en Panamá .....	34
<b>OBJETIVOS</b> .....	36
<b>CAPITULO II</b> .....	38
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	38
<b>2.1 MATERIALES</b> .....	39
2.1.1 Equipos de laboratorio .....	39
2.1.2 Cristalería .....	39
2.1.3 Medios de Cultivos .....	39
2.1.4 Materiales varios .....	39
<b>2.2 METODOLOGÍA</b> .....	40
2.2.1 Puntos de muestreos .....	40
2.2.3 Recolección y Transporte de las muestras .....	42
2.2.4 Análisis Microbiológico .....	42
2.2.5 Determinación del Recuento total de heterótrofos. ....	43
2.2.6 Determinación del Recuento de Coliformes Fecales y Coliformes Totales .....	43
2.2.7 Determinación del Recuento de <i>Pseudomonas sp.</i> .....	44
<b>CAPITULO III</b> .....	45

<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	45
<b>3.1 RESULTADOS</b> .....	46
3.1.1 Prueba de Normalidad.....	46
3.1.2 Recuento total de microorganismo por tipo de agua.....	46
2.1.3 Recuento total de microorganismo por tipo de potabilizadora.....	47
2.1.6 Comparación del recuento de microorganismos por tipo de microorganismo, tipo de agua y tipo de potabilizadora.....	48
2.1.7 Observación del comportamiento del recuento de microorganismo por mes para la potabilizadora de Chilibre y la potabilizadora de Miraflores. ....	48
<b>3.2 DISCUSIÓN</b> .....	50
<b>CAPITULO IV</b> .....	58
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	58
<b>CONCLUSIÓN</b> .....	59
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	60
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	61
<b>ANEXOS</b> .....	69

# ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Valores máximos permitidos que se establecen para el agua potable por el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT .....	70.
<b>Cuadro 2.</b> Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos del agua para consumo humano, guía para el agua potable por la OMS. ....	70.
<b>Cuadro 3.</b> Tabla de análisis de estadística descriptiva.....	71.
<b>Cuadro 4.</b> Tabla de cuantiles.....	71.
<b>Cuadro 5.</b> Tabla de comparaciones por pades utilizando la prueba de suma de rangos de Wilcoxon. ....	71.
<b>Cuadro 6.</b> Parámetros fisicoquímico durante la estación lluviosa.....	72.

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sitio de muestreo No 1. Estación de bombeo de agua cruda de Gamboa, de la planta potabilizadora de Miraflores. ....	40
<b>Figura 2.</b> Sitio de muestreo No 2. Centro de Salud de Paraíso; Corregimiento de Ancón.....	41
<b>Figura 3.</b> Sitio de muestreo 3. Estación de bombeo de agua cruda de la planta potabilizadora Federico Guardia Conte de Chilibre .....	41
<b>Figura 4.</b> Sitio de muestreo 4. Tanque de almacenamiento de agua tratada, Planta Federico Guardia Conte de Chilibre.....	42
<b>Figura 5.</b> Gráfico de normalidad. ....	46
<b>Figura 6.</b> Gráfico caja barra de recuento de microorganismos por tipo de agua. ....	47
<b>Figura 7.</b> Gráfico caja barra de recuento de microognismo por tipo de potabilizadora. ....	47
<b>Figura 8.</b> Gráfico de comportamiento de los grupos de microorganismos por tipo de microorganismo, tipo de agua y tipo de potabilizadora.....	48
<b>Figura 9.</b> Gráfico de comportamiento del comportamiento de los grupos de microorganismos por mes en la potabilizadora de Chilibre.....	49
<b>Figura 10.</b> Gráfico de comportamiento del comportamiento de los grupos de microorganismos por mes en la potabilizadora de Miraflores.....	49
<b>Figura 11.</b> Nivel del embalse del Lago Gatún durente del año 2019.....	73
<b>Figura 12.</b> Nivel del embalse del Lago Alajuela durente del año 2019.....	73
<b>Figura 13.</b> Punto de colecta de agua cruda antes del proceso de potabilización dentro de la planta potabilizadora de Chilibre.....	74

<b>Figura 14.</b> Punto de colecta de agua tratada despues del proceso de potabilizacion dentro de la planta potabilizadora de Chilibre.....	74
<b>Figura 15.</b> Punto de colecta de agua cruda del lago Miraflores en la planta potabilizadora de Miraflores.....	74
<b>Figura 16.</b> Punto de colecta de agua tratada en el Centro de Salud de Paraíso, corregimiento de Ancón.....	74
<b>Figura 17.</b> Bolsas Whirl-Pak utilizadas para la colecta de muestras de agua cruda.	75
<b>Figura 18.</b> Medios de cultivos en ampollas para determinar la presencia de Coliformes, Pseudomonas sp. y recuento total de Heterótrofos.....	75
<b>Figura 19.</b> Sistema de filtración por la técnica de filtro de membrana.....	75
<b>Figura 20.</b> Procesamiento de las muestras en el laboratorio.....	75
<b>Figura 21.</b> Presencia de Coliformes Totales (colonias de color rosado) y fecales (Colonias de color azul) en Caldo ColiBlue en agua cruda y agua tratada.....	76
<b>Figura 22.</b> Presencia de Heterótrofos en Caldo extracto de glucosa triptona (TGE), en muestras de agua tratada.....	77
<b>Figura 23.</b> Presencia de Pseudomonas sp, en caldo selectivo para Pseudomonas	77

# RESUMEN

Es importante establecer modelos de evaluación y gestión integral que garanticen la calidad del suministro de agua. Es por esto, que el uso de microorganismos bioindicadores de calidad del agua, disminuye los costos y facilita la implementación de medidas eficientes de tratamiento, control del agua y de enfermedades asociadas a su transmisión. Debido a esto, el objetivo de este estudio es evaluar la presencia de bacterias coliformes y *Pseudomonas* en muestras de agua cruda y tratada de las plantas potabilizadoras de Chilibre y Miraflores de la Ciudad de Panamá. Se llevaron a cabo dos muestreos por semana con tres repeticiones por cada punto de muestreo, siendo 6 muestras de agua cruda y tratada para cada potabilizadora por 12 semanas desde octubre a diciembre de 2019. Las muestras de agua cruda y tratada de la planta potabilizadora de Chilibre fueron recolectadas dentro de la planta y en el caso de la potabilizadora de Miraflores, el agua cruda fue recolectada en una zona abierta dentro del Lago Gatún y el agua tratada fue recolectada a través de las redes de distribución, en el centro de salud de Paraíso, corregimiento de Ancón. Estas muestras fueron transportadas en cadena de frío a los laboratorios de la Universidad de Panamá y procesadas mediante la técnica de filtro de membrana con medios de cultivos para coliformes termotolerantes fecales y totales, *Pseudomonas* y recuento total de heterótrofos. Con los resultados de estos análisis, se pudo demostrar que existen diferencias significativas entre el recuento total por tipo de microorganismos, tipo de agua y tipo de potabilizadora (Friedman chi-cuadrado = 353.77, df = 2, p-value < 2.2e-16). Además, se observó una disminución significativa durante el proceso de potabilización del agua de los niveles de coliformes termotolerantes y totales en agua potable en ambas potabilizadoras, de acuerdo con la norma DGNTI-COPANIT 21-2019, encontrándose dentro de los valores permitidos que son establecidos para el

agua para consumo humano. Esto determina el buen nivel de desinfección de ambas potabilizadoras.

**Palabras Clave:** Potabilizadoras, indicadores de contaminación fecal, *Pseudomonas*, recuento total de heterótrofos, filtro de membrana, Panamá.

# **ABSTRACT**

The importance of establishing evaluation and comprehensive management models that guarantee the quality of water supply. Whereby the use of water quality bioindicator microorganisms reduces costs and facilitates the implementation of efficient treatment measures, water control, and diseases associated with its transmission. Therefore, these study aims are to evaluate the presence of coliform and *Pseudomonas* in samples of raw and treated water from the Chilibre and Miraflores water treatment plants. Two samplings were carried out per week with three repetitions for each sampling point, where 6 samples including raw and treated water were sectorized for each water treatment plant for a period of 12 weeks from October to December of 2019. The samples of raw and treated water from the Chilibre water treatment plant were collected within the plant and in the case of the Miraflores water treatment plant, the raw water was collected in an open area within Gatún Lake, raw water was collected within the plant and the treated water was collected through the distribution networks of the Paradise Health Center, Ancón district. These samples were transported in cold chain to a laboratory of the University of Panama and processed using the membrane filter technique with media for total and thermotolerant coliforms, *Pseudomonas*, and total heterotrophic count. With the results of these analyzes, it was possible to demonstrate that there are significant differences between the total count by type of microorganisms, type of water, and type of water treatment plant (Friedman chi-squared = 353.77, df = 2, p-value <2.2e-16). Observing a significant decrease during the water purification process where the levels of fecal and total coliforms in drinking water samples of both water treatment plants, by the DGNTI-COPANIT 21-2019 standard, are within the allowed values that are established for water for human

consumption. Being able to determine the good level of disinfection that both water treatment plants.

**Key Words:** Water treatment plant, fecal contamination indicators, *Pseudomonas*, total heterotrophic count, membrane filter, Panama.

# INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más abundantes de la naturaleza, pero es cada vez más escasa. Panamá cuenta con recursos hídricos abundantes, muy constantes en términos interanuales, sin dependencia respecto a otros países en cuanto a su origen y posee uno de los niveles de estrés hídrico más bajos del mundo. Sin embargo, enfrenta importantes retos vinculados a la eficiencia en el uso del agua y aún en el futuro, dadas las consecuencias del cambio climático y el previsible aumento de la población urbana y del nivel de ingresos (Garcimartín *et al.*, 2020).

A pesar de que Panamá está caracterizada por poseer una de las más altas calidades de agua potable en América Latina, según el programa de monitoreo conjunto de la UNICEF y OMS, con un 93% de acceso a nivel nacional, no escapa que el agua que abastece a las ciudades, provenientes de fuentes superficiales y subterráneas estén siendo contaminadas por la población, haciendo que las mismas deban ser sometidas a estrictos tratamientos de purificación (Mejía *et al.*, 2016).

Por lo que, en la actualidad, el acceso a fuentes de agua segura es una preocupación mundial por el crecimiento de la población y los altos índices de contaminación. En el mundo existen, alrededor de 783 millones de personas, es decir, un 11% de la población, que aún vive sin acceso a agua potable y saneamiento (OMS, 2012). Es por ello, por lo que la potabilización es un proceso fisicoquímico, por el cual el agua cruda es sometida a tratamiento para hacerla apta para su consumo, en el cual se eliminan sólidos y materia orgánica que podrían afectar la salud de los consumidores, en el cual los materiales como el cromo, algas, arena y microorganismos son eliminados para que estas puedan ser consumidas (Camaho, 2011).

En la Ciudad de Panamá, con su auge en crecimiento, es necesario un gran abastecimiento de agua potable para sus pobladores, por lo que el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) posee una gran red de distribución que es abastecida por las dos plantas más grandes del país, la planta potabilizadora Federico Guardia Conte (Chilibre) y la planta potabilizadora de Miraflores (IDAAN, 2021). Con el paso del tiempo, nuevas tecnologías han llegado y con ellas mejoras en la producción de ambas plantas. La producción diaria actual de ambas plantas brinda un total de 300 millones de galones de agua diarios, siendo la producción de la planta Federico Guardia Conte en Chilibre de 250 millones de galones de agua diarios y la planta potabilizadora de Miraflores produce en un rango entre 48 a 50 millones de galones diarios, de los cuales, 45 millones son vendidos al IDAAN. El contrato entre ambas instituciones establece un suministro de 42 millones de galones al día y con un máximo de 45 millones de galones (ACP, 2010).

Esto no quiere decir que se den abasto, por lo que la demanda aumenta de manera exponencial, por lo que actualmente en ambas potabilizadoras, existen proyectos para su mejora y actualización. Debido a la importancia en la salud del proceso de potabilización, existen normas que lo rigen, donde Panamá se rige por la norma DGNTI-COPANIT 23-395-99, 21-2019, en la que se establecen valores máximos permisibles de microorganismos que pueden estar presentes en el agua potable (MICI, 1999). En las que se utilizan microorganismos como indicadores de calidad del agua y si estas son aptas para consumo humano.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

## **1. Antecedentes**

La contaminación fecal de las fuentes de aguas superficiales para el abastecimiento de consumo humano es uno de los problemas más preocupantes en los países en vías de desarrollo. Ya que en las grandes ciudades esta contaminación se debe principalmente al vertimiento de las aguas residuales sin ningún tratamiento y el uso de estas como fuentes de agua, lo cual implica un riesgo de transmisión de enfermedades hídricas (Aurazo, 2004). De acuerdo con datos del IDAAN, institución que regula el uso del agua en Panamá, el 66% de la población utiliza aguas superficiales, lo cual le da vital importancia al estudio de las aguas crudas que abastecen el sistema de distribución. Esto está definido como la evaluación y examen, de forma continua y vigilante desde el punto de vista de la salud pública, de la inocuidad y la aceptabilidad del sistema de abastecimiento de agua de consumo. En donde la contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana. Por ello, el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población (Vivas-aguas *et al.*, 2014).

Es por ello, por lo que se utilizan diferentes indicadores de calidad del agua, ya que estos ofrecen una visión de las condiciones y presiones ambientales, y respuestas de la sociedad, que son sencillas, fáciles de interpretar y capaces de mostrar las tendencias temporales, respondiendo a cambios en el ambiente y a las actividades humanas relacionadas, proporcionando una base para las comparaciones internacionales ya que son aplicables a escala nacional o regional. Todas estas

características hacen que sean útiles para monitorear las condiciones en las que se encuentran los ecosistemas acuáticos (Loné, 2016).

## **1.1 Potabilizadoras**

Son un complejo industrial el cual se encargar de someter el agua superficial o subterránea de un río o de cualquier otro embalse, a varios procesos con la finalidad de producir agua potable que sea apta para su consumo y uso en las actividades diarias de una población (iAgua, 2017). De acuerdo con datos de MiAmbiente (antiguamente ANAM) en la Ciudad de Panamá, la gran mayoría de las plantas de tratamiento administradas por el IDDAN en las zonas urbanas se usa primordialmente el 99.9%, el agua superficial para consumo humano. El uso de las aguas subterráneas puede darse con un poco de mayor frecuencia en zonas rurales. De acuerdo con MiAmbiente (antiguamente ANAM), se estima que más de 80% de las descargas de aguas residuales proviene del sector doméstico y comercial, y 20% restante corresponde al sector industrial (ACP, 2006). Al igual que se reporta que pocas empresas presentan solicitud de permiso de descarga de aguas, ya sea a cuerpos de aguas superficiales o al alcantarillado (ANAM, 2011).

### **1.1.1. Etapas de la potabilización del agua**

- a. **Captación:** el agua es captada de los ríos o lagos y conducida a la planta potabilizadora a través de las electrobombas.
- b. **Proceso de potabilización:** en este proceso se utilizan diferentes productos y sistemas de filtración para lograr eliminar las partículas en suspensión y la destrucción de agentes microbianos que puedan estar presentes en el agua.

El proceso de potabilización del agua incluye:

1. **Aireación:** ocurre a la entrada de la planta. En este proceso se pone el agua en contacto con el aire para que desprenda sustancias volátiles que pueda contener.
  2. **Coagulación:** donde se produce una mezcla violenta del agua cruda con los productos químicos que son adicionados para facilitar la remoción de sólidos disueltos y en suspensión por sedimentación y filtración.
  3. **Floculación:** proceso físico en el cual el agua tratada se agita suavemente para aumentar la colisión de Inter-partículas, promoviendo así la formación de partículas grandes, también se forman las partículas cada vez más grandes conocidas como flóculos, los cuales son separadas luego en los procesos de sedimentación.
  4. **Sedimentación:** proceso físico que envuelve el asentamiento gravitacional de las partículas suspendidas que son más densas que el agua.
  5. **Filtración:** es una importante barrera en la remoción de partículas de suciedad, incluyendo (protozoarios, quistes y ooquistes) pero todavía quedan otras que escapan de los procesos anteriores por su tamaño tan pequeño como (virus y bacterias), por lo que se requiere hacerlas pasar por un medio granular de arena y antracita para obtener una purificación total.
  6. **Desinfección:** se debe agregar cloro después del proceso de filtración para hacer una desinfección total.
- c. **Tanque de reserva del agua potable:** una vez culminada la potabilización del agua, la misma es conducida a las reservas de almacenamiento, donde la permanencia de esta asegura el tiempo de contacto necesario con el cloro para hacer efectivo el tratamiento.

d. **Distribución del agua potable:** ya finalizado el tratamiento, esta sale por los conductos que van a permitir la distribución del agua potable a la población mediante sistemas de bombeo y gravedad (ACP, 2009).

## **1.2 Potabilizadora de Miraflores**

La planta potabilizadora de Miraflores fue inaugurada el 14 de marzo de 1915 por los Estados Unidos de América (EE.UU.) y es abastecida por el Lago Gatún, la cual se encuentra ubicada al norte de las esclusas de Miraflores, en el lado este del Lago Miraflores. La entrada está ubicada a 200 m al norte de la entrada hacia las esclusas de Miraflores, por la Avenida Omar Torrijos Herrera, corregimiento de Ancón, Distrito de Panamá, Provincia de Panamá (Resolución No. JD-3578 de 28 de octubre de 2002). Tiene una capacidad para producir 125 millones de galones diarios de agua potable y es operada por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). El agua potable que produce la planta de Miraflores es distribuida por el IDAAN para sus clientes del Casco Antiguo, corregimiento de San Felipe y, además, los corregimientos de Calidonia, Bella Vista, El Chorrillo, Santa Ana y Ancón, y también, las áreas revertidas, que ha ido en crecimiento sostenido y que incluye a Albrook, Balboa, Clayton, Diablo, Los Ríos, Miraflores, Paraíso y Gamboa. El resto, es destinada a usuarios de Arraiján y a las operaciones del Canal (El faro ACP, 2009).

### **1.3 Potabilizadora Federico Guardia Conte**

La planta potabilizadora de Chilibre fue construida en 1974 y actualmente cuenta con una segunda fase que fue construida en año 2008, y la misma se encuentra ubicada en la ciudad de Panamá, en el corregimiento de Chilibre y es abastecida por el Lago Alajuela, la cual brinda 473.2 millones de litros diarios, y es operada por el IDAAN (Bennett, 2017). Esta potabilizadora se encarga de abastecer los sectores como: Río Abajo, San Francisco, Carrasquilla, vía España, Parque Lefevre, Bella Vista, El Cangrejo, Vía Argentina, Panamá Viejo, Paitilla, Punta Pacífica, Costa del Este, Calle 50, Avenida Balboa, Vía Brasil, Perejil, El Carmen y La Cresta, entre otros sectores (IDDAN, 2021). De acuerdo con datos de la Autoridad de Servicios Públicos (ASEP) en el año 2005, en la potabilizadora de Chilibre no se halló presencia de bacterias coliformes, mientras que el rango de organismos heterótrofos se encontraba dentro del rango establecido por las normas de la Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas y Dirección General de Normas y Tecnología Industrial (COPANIT-DGNTI, 1999). En cuanto al año 2007 se realizaron estudios en el lago Las Cumbres y se encontró que el mes con mayor presencia de coliformes totales y termotolerantes (fecales) fue septiembre (Abre, 2008).

### **1.4 Método de filtro de membrana**

El método por filtración de membrana (MF), es una técnica altamente reproducible, se puede usar para analizar volúmenes de muestras relativamente grandes y se obtienen resultados en menor tiempo que con el método de Número Más Probable (NMP). Sin embargo, no se puede aplicar en cualquier tipo de muestra y tiene sus limitaciones. También, se encuentra entre los métodos estándares, el método de MF

es extremadamente útil en el monitoreo de agua potable y en una variedad de aguas naturales (APHA *et al.*, 2005).

#### **1.4.1 Fundamento del método de filtro de membrana**

El método de MF consiste en hacer pasar un volumen determinado de muestra líquida, a través de un filtro de membrana estéril (diámetro 47 mm, poro 0.45  $\mu\text{m}$ ), esto es gracias a una bomba eléctrica que ejerce una presión diferencial sobre la muestra de agua haciendo que esta se filtre (Gerba, 2009). Los microorganismos de tamaño menor que el específico del poro pasan la membrana o quedan retenidos en su interior, las bacterias quedan en la superficie de la membrana y luego esta es llevada a un medio enriquecido, selectivo o deferencial, quien a través de intercambio metabólico y una incubación, evidencia el crecimiento de microorganismos y Unidades Formadoras de Colonias (De la cruz, 2018).

#### **1.4.2 Características del filtro de membrana**

Se debe utilizar un filtro de membrana con un diámetro del poro que permita una completa retención de las bacterias, se deben tener en cuenta que estos filtros estén libres de químicos susceptibles de inhibir el crecimiento y desarrollo bacteriano, que poseen una velocidad de filtración satisfactoria (MILLIPORE, 2005).

#### **1.4.3 Ventajas y desventajas del método de filtración por membrana**

- Este método es muy útil para determinar cargas muy bajas, pues se puede filtrar volúmenes entre 100 y 500 mL a la vez. Además, es el método de elección para muestras líquidas o solubles que contienen agentes antimicrobianos, por tanto, no es necesario neutralizarlos.

- También, es un método muy ventajoso por ser sencillo y rápido el procedimiento, y por requerir poco material y menos espacio de incubación. Sin embargo, no puede ser utilizado en muestras que contengan sedimentos, pues estos ocasionarían que el filtro se obstruyera (Mara y Horan, 2003).

#### **1.4.4 Expresión de los Resultados**

Una vez conocido el número de UFC por filtro, se expresa el valor en UFC/mL, que es el número mínimo de células separables sobre la superficie, o dentro de un medio de agar que da lugar al desarrollo de una colonia visible del orden de decenas de millones de células descendientes. Las UFC pueden ser pares, cadenas o racimos, así como células individuales y se miden en UFC/mL (Mara y Horan, 2003).

Coliformes Totales o Termotolerantes (Fecales) = (# de colonias X 100) / (mL de muestra filtrada)

### **1.5 Microorganismos como indicadores de la calidad del agua**

Los microorganismos indicadores de la calidad microbiológica del agua son habitantes normales del intestino del hombre y otros animales de sangre caliente; por eso, su presencia en las muestras de agua nos indica la contaminación del agua con materia fecal y en consecuencia la posibilidad de transmisión de cualquier enfermedad de origen hídrico (Mora y Mata, 2003).

Estos microorganismos también presentan un comportamiento similar a los microorganismos patógenos. Ya que su presencia determina la existencia de los mismo permitiendo comparar sus reacciones a cambios de pH y temperatura o aplicación de medios físicos o químicos de desinfección, con la ventaja de ser más

fácilmente cultivables o identificables, y económicamente factibles (Vázquez *et al.*, 2006).

#### **1.5.1 Criterios que deben reunir un microorganismo indicador de la contaminación en el agua:**

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas (su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal).
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno.

Con base en los criterios mencionados los indicadores microbiológicos de contaminación del agua generalmente han sido bacterias de la flora saprófita intestinal, entre las que se encuentran, las bacterias mesófilas, coliformes totales y termotolerantes, *Escherichia coli* (*E. coli*) y *Streptococos fecales*, entre otros. (Ríos-Tobón *et al.*, 2017).

## **1.6 Bacterias coliformes como indicadores de contaminación.**

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador debido a que estos forman parte del microbiota normal del tracto gastrointestinal, tanto del ser humano como de los animales homeotermos y están presentes en grandes cantidades en él. Los microorganismos coliformes constituyen un grupo heterogéneo de amplia diversidad en términos de género y especie (Santiago *et al.*, 2012).

La presencia de estas bacterias, son un indicador de contaminación fecal por descarga reciente de desechos, a largo plazo son indicadores de la efectividad de programas de control (Vázquez *et al.*, 2006). Las ventajas que presenta el uso de bacterias como indicadores, es que el muestreo de este grupo tiene una metodología bien desarrollada y da respuesta rápida a cambios ambientales tales como la contaminación, básicamente por descargas domésticas y municipales (De la Lanza *et al.*, 2011).

### **1.6.1 Coliformes Totales**

Son bacilos Gram negativos no esporulados, que se desarrollan en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos, fermentan la lactosa entre 35°C y 37°C, entre 24 a 48 h, y, además, presentan actividad de la  $\beta$ -galactosidasa (Mora y Mata, 2003). La podemos encontrar tanto en las heces como en el medio ambiente y en el agua para consumo con concentraciones de nutrientes relativamente elevadas (Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-2019).

En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de

tratamiento de agua, e intensificar la vigilancia en la red de distribución (Campos Pinilla, 2003).

### **1.6.2 Coliformes Termotolerantes o Fecales**

Los coliformes termotolerantes son bacterias anaeróbicas facultativas, no esporuladas, Gram negativas, *que* pueden fermentar la lactosa a 44 - 45°C, en un período de 24 h. Incluyen bacterias del género *Escherichia* y también especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* (Marchand y Edgar, 2002). Están presentes en grandes cantidades en las heces de animales de sangre caliente, su presencia en aguas o alimentos sirve de indicador indirecto de contaminación fecal y del riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas intestinales (Camargo y Francesca, 2018). Se considera que niveles bajos de coliformes fecales son buenos indicadores de ausencia de organismos patógenos. Su evaluación es relativamente simple y directa (Cortés-Lara, 2003).

#### **1.6.2.1 *E. coli***

Es miembro de la Familia Enterobacteriaceae y forma parte de la microbiota del tracto gastrointestinal de animales homeotermos (Allocati *et al.*, 2013). Es un bacilo Gram negativo, anaerobio facultativo, cuya temperatura de crecimiento preferente es a 37°C y es la única especie que presenta  $\beta$ -D-glucuronidasa (Croxen *et al.*, 2013). Es considerada como un organismo indicador de contaminación fecal el cual se ha demostrado que esta bacteria siempre está presente en un número elevado en las heces de humanos y animales de sangre caliente, y comprende casi 95% de los coliformes en las heces (Méndez 2004).

## **1.7 Recuento total de Heterótrofos**

Son un grupo de microorganismo, que utilizan el carbono orgánico como fuente única de energía y carbono para su crecimiento, en contraposición con las bacterias autotróficas que utilizan los compuestos inorgánicos como fuente de energía y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), como fuente de carbono. Suelen encontrarse en el suelo, en el agua, en los alimentos y en los lechos de los suelos de las masas de agua (CEPIS, 2000), y también, es un indicador de la carga total bacteriana, que favorece el recuento de bacterias viables a 35°C (Glasmacher *et al.*, 2003). El recuento en placa de bacterias heterotróficas, el cual detecta una amplia variedad de microorganismos, principalmente bacterias que son indicadoras de la calidad microbiológica general del agua. Estas bacterias indican un deterioro de la calidad de agua en la red (De la Cruz, 2010).

## **1.8 *Pseudomonas* sp.**

*Pseudomonas*, se incluye dentro del grupo general de microorganismos aeróbicos Gram negativos. Son Bacilos flagelados, con tamaño que oscila entre 0.5 - 1 µm de ancho por 1.5 - 4 µm de largo. Debido a que no fermentan la glucosa, se les conoce como no fermentadores, al contrario de las enterobacterias que si lo fermentan. *Pseudomonas* puede multiplicarse en aguas que contengan tan solo cantidades mínimas de nutrientes, y son capaces de utilizar una amplia variedad de fuentes de carbono y nitrógeno para crecer en diversos ambientes (Castillo *et al.*, 2009).

Se sabe que *Pseudomonas* está constituido por bacilos aerobios Gram negativo, esta posee una densa capa de polisacáridos que actúa como barrera fisicoquímica capaz de protegerla del efecto del cloro residual. Ha sido aislada en agua potable, redes de distribución de agua para consumo humano, demostrando 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 del agua. Además, su característica más importante, es su capacidad de inhibir coliformes que, al ser indicadores de contaminación de agua más comúnmente usados en el mundo, existe gran probabilidad de consumir agua con índice de coliformes cero, que podrían estar inhibidos por microorganismos del género *Pseudomonas*. Se considera, por lo tanto, que aun cuando las aguas tratadas muestran estar libres de coliformes, no se puede asegurar su potabilidad (Won *et al.*, 2013).

El uso de *Pseudomonas* como indicador, aun cuando esta es patógena, se debe a que esta reportada como una de las bacterias de mayor importancia clínica dentro de los bacilos Gram negativos no fermentadores, pues además de ser uno de los principales responsables de infecciones intrahospitalarias, también es causante de epidemias severas de diarreas en lactantes y en enfermos hospitalizados. Todas sus cepas son potencialmente patógenas para el hombre, dada su producción de compuestos tóxicos, por ende, su presencia en el agua potable de uso humano, indica un riesgo de salud pública (Rodríguez *et al.*, 2018).

## **1.9 Normas de calidad de agua en Panamá**

### **1.9.1 Reglamento de la calidad de agua para consumo humano en Panamá**

La Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas (COPANIT) que es operada bajo el Ministerio de Comercio e Industria, en donde el brazo ejecutivo de COPANIT es la DGNTI (Dirección de Normas y Tecnología Industrial), las cuales tienen como principal objetivo desarrollar normas a través de comités técnicos e implementar programas relacionados con normalización, certificación de calidad,

metrología y conversión al Sistema Internacional de Unidades. En la que el 12 de noviembre de 1999, a través de la Resolución N.º 597 es aprobado el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99, sobre los requisitos generales y definiciones del agua potable, que tiene por objeto, establecer los requisitos físicos, químicos, biológicos y radiológicos que debe cumplir el agua potable (Resolución N.º 35 de 6 de mayo de 2019).

## **OBJETIVOS**

### **a. Objetivo general**

2. Evaluar la presencia de microorganismos coliformes y *Pseudomonas* en muestras de agua cruda y tratada de las plantas potabilizadoras de Chilibre y Miraflores de la Ciudad de Panamá.

### **b. Objetivos específicos.**

- Determinar la carga microbiana en muestras de aguas crudas y tratadas de las plantas potabilizadoras de Chilibre y Miraflores.
- Determinar la presencia de Coliformes fecales y totales en muestras de agua cruda y tratada de las plantas potabilizadores de Chilibre y Miraflores de la ciudad de Panamá con la técnica de filtro de membrana usando el Caldo m-ColiBlue.
- Determinar la presencia de Recuento total de heterótrofos en muestras de agua cruda y tratada de las plantas potabilizadores de Chilibre y Miraflores de la ciudad de Panamá con la técnica de filtro de membrana usando el Caldo extracto de glucosa triptona.
- Determinar la presencia de *Pseudomonas* en las muestras de aguas crudas y tratadas de las potabilizadoras de Chilibre y Miraflores de la ciudad de Panamá con la técnica de filtro de membrana usando el Caldo selectivo para *Pseudomonas*.
- Determinar si las potabilizadoras de Chilibre y Miraflores cumplen con las normas exigibles, para determinar la calidad del agua utilizada para consumo humano.

## **HIPÓTESIS**

**Ha:** El agua tratada presentara un menor número de microorganismos indicadores de contaminación fecal y presencia de *Pseudomonas* que las aguas crudas.

**Ho:** El agua tratada presentara un mayor número de microorganismos indicadores de contaminación fecal y presencia de *Pseudomonas* que las aguas crudas.

# **CAPITULO II**

# **MATERIALES Y**

# **MÉTODOS**

## 2.1 MATERIALES

### 2.1.1 Equipos de laboratorio

Incubadora T 37°C	Thermolyne
Incubadora T 45°C	Lab-Line
Bomba de presión y vacío	Merck Millipore
Sistema de Filtración	Gelman Sciences

### 2.1.2 Cristalería

Tubos de ensayos de 10 mL con roscas	Glassco
Matraz de 500 mL	PIREX

### 2.1.3 Medios de Cultivos

Caldo M-ColiBlue	Merck Millipore
Caldo selectivo para <i>Pseudomonas</i>	
Caldo extracto de glucosa triptona	

### 2.1.4 Materiales varios

Platos Petri de 45 mm con pads absorbentes.	Pall
Bolsas recolectoras de agua con tiosulfato.	WHIRL-PAK

## 2.2 METODOLOGÍA

### Diseño Experimental

Este muestreo se llevó a cabo en dos plantas potabilizadora de la ciudad de Panamá, en la planta potabilizadora Federico Guardia Ponte en Chilibre y la potabilizadora de Miraflores, durante un periodo de tres meses, destacando la temporada lluviosa del año 2019, para estos meses se realizaron 12 semanas de muestreos, en la que se recolectaron 12 muestras de agua tratada y 3 muestras de agua cruda para cada potabilizadora. Cabe señalar que de este estudio a cada muestra madre de agua cruda se le realizaron tres réplicas para así obtener una mejor comparación en los resultados.

#### 2.2.1 Puntos de muestreos

**Punto de muestreo 1:** Ubicada en las coordenadas  $9^{\circ} 00' 10'' \text{N} - 79^{\circ} 35' 37'' \text{W}$  correspondiente a la Estación de Bombeo de agua cruda de Gamboa, de la Planta potabilizadora de Miraflores la cual es abastecida por el Lago Gatún (Fig. 1).



**Figura 1.** Sito de muestreo 1. Estación de bombeo de agua cruda de Gamboa, de la planta potabilizadora de Miraflores. Coordenadas  $9^{\circ} 00' 10'' \text{N} - 79^{\circ} 35' 37'' \text{W}$ .

**Punto de muestreo 2:** Ubicada en las coordenadas  $9^{\circ} 01'40''N$  y  $79^{\circ} 37'31''W$ , que pertenece al Centro de Salud de Paraíso, Corregimiento de Ancón, la cual es suministrada por la Planta Potabilizadora de Miraflores (Fig. 2).



**Figura 2.** Sitio de muestreo 2. Centro de Salud de Paraíso; Corregimiento de Ancón. Coordenadas  $9^{\circ} 01'40''N$  y  $79^{\circ} 37'31''W$ .

**Punto de muestreo 3:** Cámara de distribución de flujo, proveniente de la Estación de Bombeo de agua cruda del Lago Alajuela, que conduce el agua cruda hacia los canales donde se realiza la mezcla de reactivos de la potabilizadora de Chilibre (Fig. 3). Coordenadas  $9^{\circ} 11'45''N$  y  $79^{\circ} 37'02''W$ .



**Figura 3.** Sitio de muestreo 3. Estación de bombeo de agua cruda de la planta potabilizadora Federico Guardia Conte de Chilibre. Coordenadas  $9^{\circ} 11'45''N$  y  $79^{\circ} 37'02''W$ .

**Punto de muestreo 4:** La potabilizadora de Chilibre, en donde se encuentra la llave de agua proveniente del tanque de almacenamiento del agua tratada antes de ser liberada a las redes de distribución, al lado de la subestación eléctrica (Fig. 4). Coordenadas 9° 11'36''N y 79° 37'05''W.



**Figura 4.** Sitio de muestreo 4. Tanque de almacenamiento de agua tratada, Planta Federico Guardia Conte de Chilibre. Coordenadas 9° 11'36''N y 79° 37'05''W.

Nota: Para la toma de muestras se obtuvieron los permisos correspondientes de las dos plantas potabilizadoras.

### **2.2.3 Recolección y Transporte de las muestras**

Se obtuvieron 3 muestras de 100 mL de agua cruda en bolsas estériles Whirl-Pak y 3 muestras de 100 mL de agua tratada en bolsas estériles Whirl-Pak con tiosulfato para inactivar el cloro, este proceso se realizó para cada potabilizadora. Una vez culminada la recolección, estas muestras fueron transportadas en cadena de frío a los Laboratorios de Microbiología Experimental y Aplicada (LAMEXA) y Microbiología de Aguas (LAMA) de la Universidad de Panamá, para su posterior procesamiento.

### **2.2.4 Análisis Microbiológico**

Los análisis se llevaron a cabo por el método de filtración de membrana de acuerdo con el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017) para el

agua potable. Los medios de cultivo utilizados fueron Caldo m-ColiBlue, Caldo selectivo para *Pseudomonas* y Caldo extracto de glucosa triptona. Estos medios en caldo, se compraron en ampollas listos para ser utilizados.

Se efectuaron tres diluciones seriadas de base 10 para el agua cruda, para permitir un mejor recuento bacteriano y para el agua tratada no se realizaron diluciones. Para las diluciones en agua cruda se utilizaron tubos de ensayo de 10 mL con roscas, previamente esterilizados. A cada tubo de ensayo se le agregó 10 mL de agua destilada estéril, y posteriormente, se les agregó las diluciones (1:10, 1:100, 1:1000) de cada muestra de agua cruda.

En el sistema de filtración, se le fue colocado el filtro de membrana y posteriormente, se les agregó los 10 mL de cada dilución, en el caso del agua cruda. Para el agua tratada, se añadieron los 100 mL de cada muestra y una vez agregada las muestras, fueron recogidos los filtros de membrana con pinzas estériles y colocados en platos Petri con los diferentes medios, evitando así la formación de burbujas y siendo incubados por el tiempo correspondientes, para después, ser contabilizadas las UFC.

#### **2.2.5 Determinación del Recuento total de heterótrofos.**

Se utilizó el medio de caldo de extracto de glucosa triptona (TGE), el cual fue incubado a  $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5$  durante 24 a 72 h. En donde se observan UFC de color transparentes a blanco cremoso.

#### **2.2.6 Determinación del Recuento de Coliformes Fecales y Coliformes Totales**

Para determinar ambos grupos de bacterias se utilizó el Caldo ColiBlue, el cual fue incubado a  $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5$  °C durante 22 – 24 h. observándose UFC de *E. coli* de color azul característico y las UFC de Coliformes Totales de color rojo.

### **2.2.7 Determinación del Recuento de *Pseudomonas sp.***

Se utilizó el Caldo selectivo para *Pseudomonas*, siendo incubado a  $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5$  durante 24 – 72 h. En donde se observan UFC pequeñas incoloras a amarillo translucido.

Nota: Los medios de cultivo utilizados con almohadilla tipo Petri-Pad, se incubaron sin invertir.

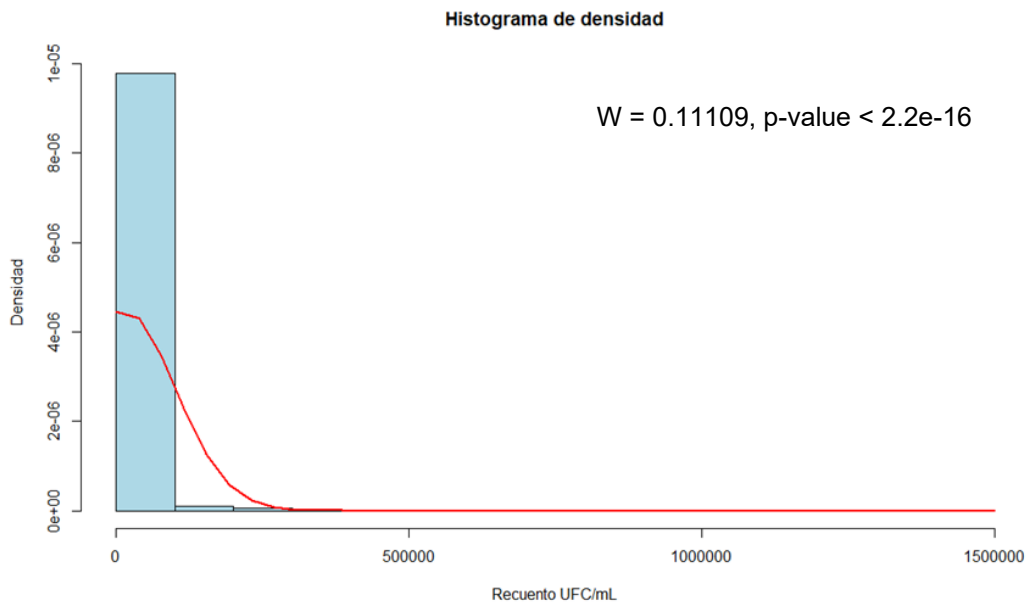
# **CAPITULO III**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3.1 RESULTADOS

#### 3.1.1 Prueba de Normalidad

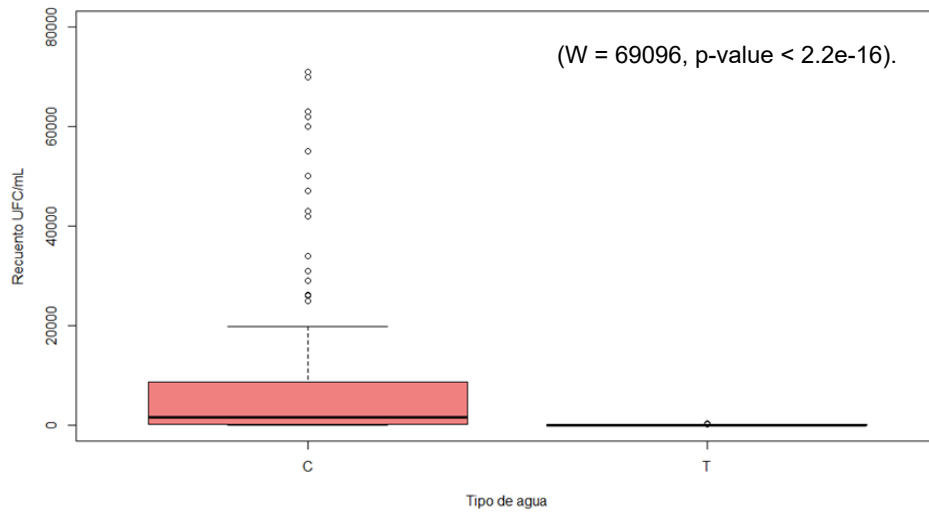
Mediante la prueba de Shapiro Wilk, indica que los datos no siguen una distribución normal ( $W = 0.11109$ ,  $p\text{-value} < 2.2e-16$ ). Esto indica que deben ejecutarse la hipótesis mediante pruebas no paramétricas (Fig. 5).



**Figura 5.** La curva muestra que los datos están más acumulados a la izquierda, indicando que los mismos no se comportan de forma normal.

#### 3.1.2 Recuento total de microorganismo por tipo de agua.

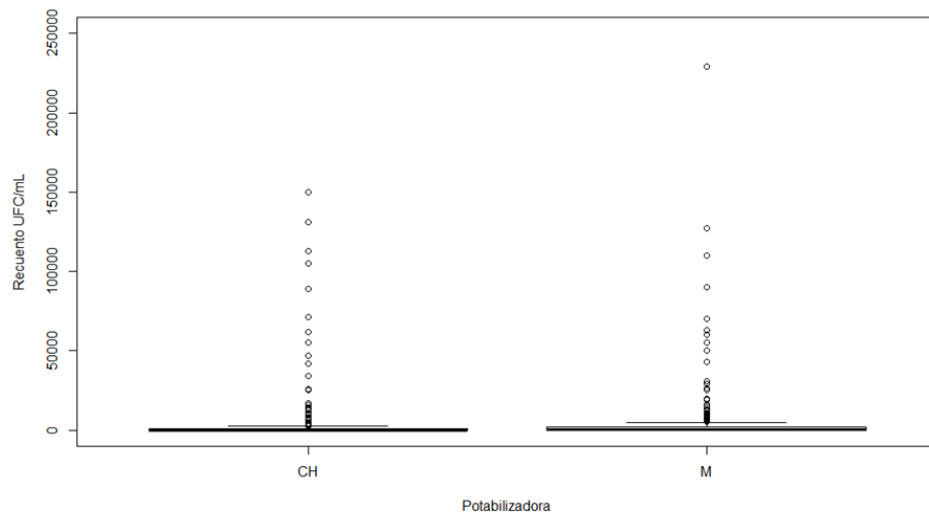
La prueba de Wilcoxon aplicada a la variable “tipo de agua”, indicó diferencias significativas entre agua tratada y el agua cruda ( $W = 69096$ ,  $p\text{-value} < 2.2e-16$ ), siendo el agua tratada la que mantuvo una media de recuento ( $\bar{x} = 24.08333$  UFC/mL) significativamente más pequeña, al compararla con el recuento de microorganismos en agua cruda ( $\bar{x} = 24572.27$  UFC/mL) (Fig. 6).



**Figura 6.** Se observa una media significativa entre el agua cruda y el agua tratada.

### 2.1.3 Recuento total de microorganismo por tipo de potabilizadora.

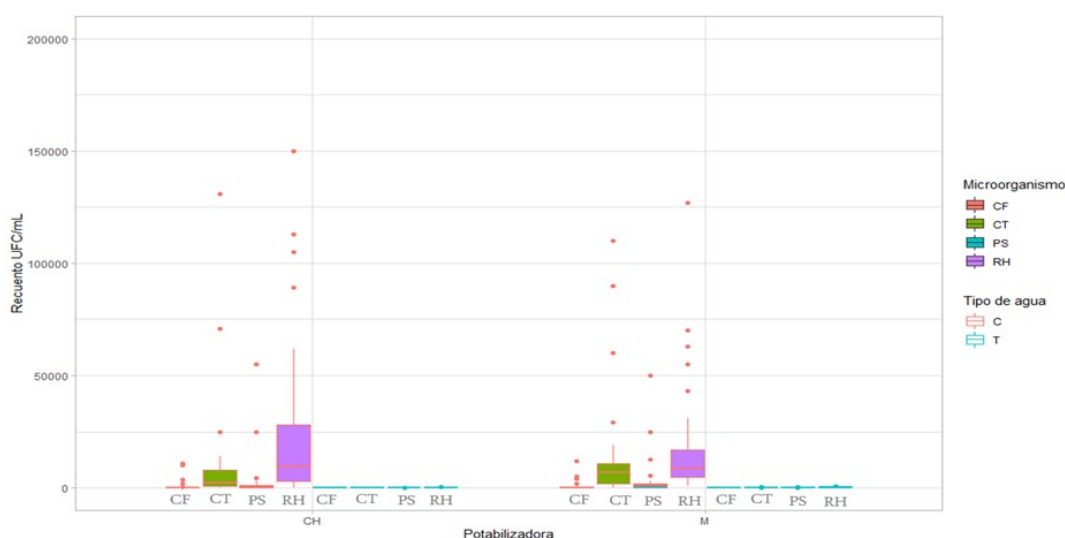
El recuento según tipo de potabilizadora mostró una media de recuento significativamente menor ( $W = 34980$ ,  $p\text{-value} = 0.0007506$ ), para la planta potabilizadora de Chilibre ( $\bar{x} = 4951.899\text{UFC/mL}$ ) en comparación a la planta potabilizadora de Miraflores ( $\bar{x} = 19644.45\text{UFC/mL}$ ) (Fig. 7).



**Figura 7.** En el diagrama se percibe que la potabilizadora de Chilibre tiene una media significativa más pequeña que la potabilizadora de Miraflores ( $W = 34980$ ,  $p\text{-value} = 0.0007506$ ).

### 2.1.6 Comparación del recuento de microorganismos por tipo de microorganismo, tipo de agua y tipo de potabilizadora.

La prueba de Friedman demostró diferencias significativas (Friedman chi-squared = 353.77, df = 2, p-value < 2.2e-16) entre tipo de agua por tipo de potabilizadora. Se pudo notar la discrepancia entre el agua antes y después del tratamiento, en donde los microorganismos que se observaban con mayor frecuencia en el agua cruda resaltando al grupo de recuento total de heterótrofos en ambas potabilizadoras y de menor cuantía para el agua tratada, los coliformes fecales en ambas potabilizadoras y así como para coliformes totales en la potabilizadora de Chilibre (Fig. 8).

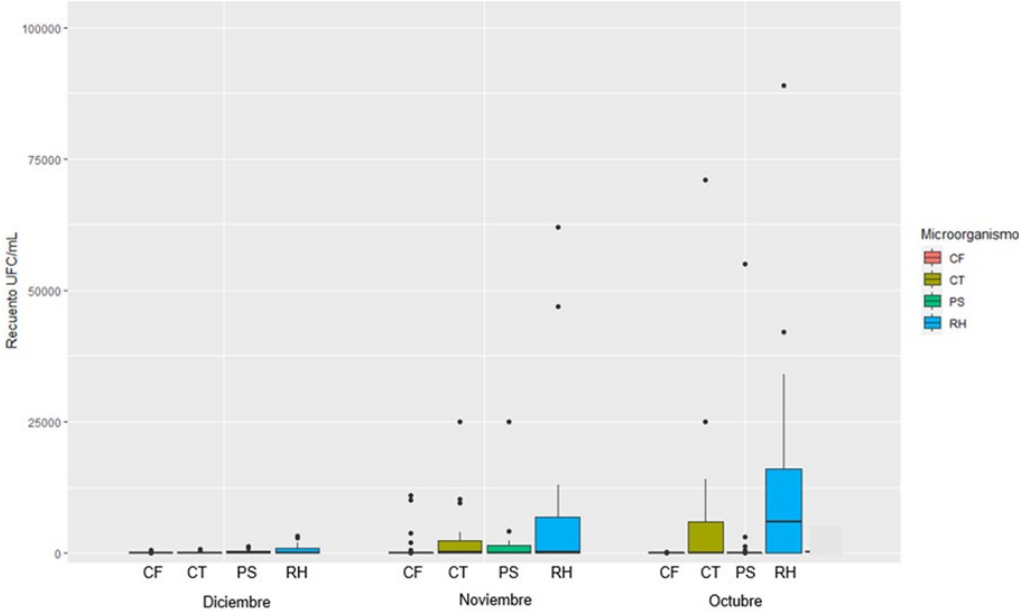


**Figura 8.** Comportamiento de los grupos de microorganismos para el agua cruda y tratada de las potabilizadoras de Chilibre y Miraflores (Friedman chi-squared = 353.77, df = 2, p-value < 2.2e-16).

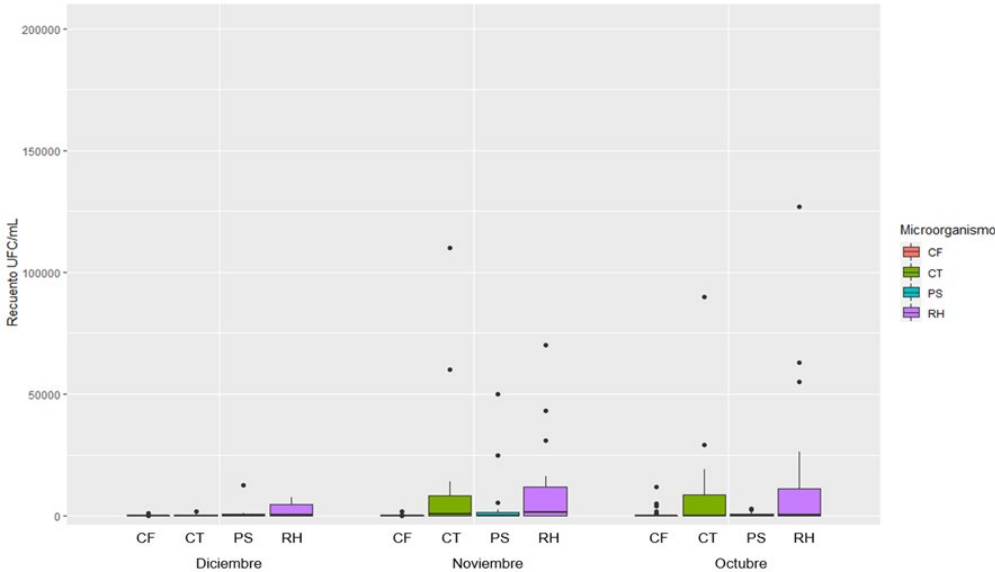
### 2.1.7 Observación del comportamiento del recuento de microorganismo por mes para la potabilizadora de Chilibre y la potabilizadora de Miraflores.

Se pudo observar mayor recuento total de heterótrofos, *Pseudomonas* y coliformes totales en la potabilizadora de Chilibre (Fig. 9), en comparación con la potabilizadora

de Miraflores (Fig. 10), en donde hay una frecuencia de estos microorganismos durante el mes de octubre, mismo comportamiento registrado en los meses de noviembre y diciembre.



**Figura 9.** Comportamiento de los grupos de microorganismos durante los meses de octubre, noviembre y diciembre en la potabilizadora de Chilibre.



**Figura 10.** Comportamiento de los grupos de microorganismos durante los meses de octubre, noviembre y diciembre en la potabilizadora de Miraflores.

## **3.2 DISCUSIÓN**

### **Análisis microbiológico**

Los estándares de calidad de agua en la república de Panamá están especificados en la Gaceta Oficial No. 24,970 de 20 de enero de 2004 contemplados en el reglamento técnico DGNTI-COPANIT 22-394-99, en la que se establecen los requisitos biológicos que debe cumplir el agua potable, la que indica que el N° de UFC/100 mL de agua tratada que entra al sistema de distribución tanto para coliformes termotolerantes como para coliformes totales, debe ser cero (0) y el N° de UFC/100 mL de agua que entra en el sistema de distribución para coliformes termotolerantes debe ser cero (0) y para coliformes totales debe ser de tres (3) UFC (cuadro 1).

En los análisis microbiológicos de las diferentes muestras de agua tratada recolectadas en la planta potabilizadora de Chilibre y Miraflores presentado en la figura 8, no se observaron presencias de coliformes fecales en ninguna de las muestras analizadas, en donde las guías de la OMS y normas en Panamá establecen que el agua para consumo humano no debe contener organismos patógenos, es decir cero presencias de coliformes fecales en muestras de 100 mL (OMS, 1995).

Con respecto a coliformes totales, la potabilizadora de Chilibre no se detectó presencia de ella en las muestras de agua tratada recolectadas dentro de la planta después del proceso de potabilización, colectada a través de la llave que da acceso a los tanques de reserva antes de ser distribuidos a las redes de distribución, y para la potabilizadora de Miraflores, se obtuvo un conteo alto de coliformes totales en muestras de agua potable recolectadas a través de la red de distribución del Centro de Salud de Paraíso, que pertenece al corregimiento de Ancón. Estos resultados podían estar influenciados

por una variedad de factores como: como la corrosión y liberación de partículas causada por el deterioro de los sistemas distribución del agua (Robertson *et al.*, 2003), y también, puede deberse a los acúmulos de suciedad en el interior de éstos y al crecimiento bacteriano derivado del contenido de materia orgánica en agua (Gauthier *et al.*, 1999). En el 2016 y 2017 se llevó a cabo un estudio en donde se encontró, que las tomas de agua tratada recolectadas de las redes de distribución en áreas cercanas a la planta potabilizadora de Monte Esperanza en la provincia de Colón presentaron un índice de calidad excelente por lo que concluyeron que sus tuberías no presentan fugas ni rupturas lo que presume que las aguas no son afectadas por algún organismo externo. Pero si encontraron un incremento significativo del 71.85% en los registros de la calidad buena, en las tomas de agua tratadas colectadas de las áreas lejanas a la planta potabilizadora. Por lo que, es posible que la causa sea por una población mayor que en otros sitios incrementando la demanda de agua, lo que supone puede afectar su calidad cuando fluye por las tuberías (De la Cruz *et al.*, 2020).

En los índices de calidad, presentado por la norma de calidad del agua en Panamá, norma COPANIT 395, se aceptan valores máximos de coliformes totales en las redes de distribución de 3 UFC/100mL, este conteo puede presentarse en algunas muestras mas no en muestras consecutivas (Gaceta Oficial, 2004). Lo que conlleva que el deterioro de las redes de distribución es una marcha imposible de detener y es por ello, por lo que se aplica como medida preventiva el tratamiento con cloro, sin embargo, las alteraciones urbanísticas constantes, pueden afectar en gran medida la calidad de estas (Vidal *et al.*, 1994).

Otro estudio llevado a cabo en 2005, en donde se realizó un análisis para determinar la calidad microbiológica del agua potable proveniente de las redes de distribución de las plantas potabilizadoras de la Chorrera, Chilibre y Miraflores no presentaron presencia de coliformes fecales, pero si presencia de coliformes totales durante los meses de febrero a junio. Otro estudio realizado en 2006, a las potabilizadora de Monte Esperanza, Sabanitas y Río Gatún, reportaron que la calidad del agua de estas potabilizadoras cumple con las normas COPANIT-DGNTI (COPANIT, 1999).

En cuanto al recuento total de heterótrofos, a pesar de que no son un indicador directo de la contaminación fecal, estas suelen estar presentes en todos los cuerpos de agua y constituyen un grupo de bacterias ambientales de amplia distribución, siendo éstas utilizadas como indicadoras de la eficacia de los procesos de tratamiento, principalmente de la desinfección (Marier *et al.*, 2000). En la figura 8, se observa mayor presencia de estas en el agua cruda en el caso de la potabilizadora de Chilibre que en la potabilizadora de Miraflores el cual pueden estar influenciado por múltiples factores como el tipo de actividad que se lleven a cabo alrededor de los mismos. Además, para el agua tratada, la potabilizadora de Miraflores presento un valor un poco mayor que la potabilizadora de Chilibre, ya que la misma fue recolectada a través de una red de distribución, pero a pesar de esto, ninguna de las muestras recolectas en ambas potabilizadoras excedieron 500 UFC/100 mL, como lo recomiendan el IDDAN y la OMS. Adicionalmente y sabiendo que las bacterias heterotróficas (aerobios mesófilos), al igual que algunos otros microorganismos, forman biopelículas sobre las superficies que están en contacto con el agua y la proliferación de los mismo, muchas veces se produce después del tratamiento del agua de consumo, la cual se conoce con

frecuencia como “re-proliferación”. Es posible que, debido a esto, se dé la persistencia de estos microorganismos a través de las diversas etapas de desinfección y que normalmente, se refleja en un aumento del recuento total de heterótrofos en placa (RHP) en muestras de agua (OMS, 2006). Por lo tanto, es posible observar la presencia de recuento total de heterótrofos, en ambas plantas, ya que las aguas superficiales sirven como fuente de captación, brindando un ecosistema adecuado para el crecimiento de la población de estos microorganismos, por lo que estos, son transportados a través de todo el sistema de tratamiento. Al igual que estos y otros microorganismos abundan en el agua, incluidas las aguas tratadas, tanques de almacenamiento y en los sistemas de abastecimiento, ya que poseen gran adaptación, que pueden tolerar condiciones adversas de suministro de oxígeno, persistiendo por más tiempo que otros microorganismos en el agua (Robert, 2014). Recalcando una vez más el estudio realizado por Herrera *et al.* (2005), se encontraron presencia de recuento total de heterótrofos en las redes de distribución encontrándose dentro de los parámetros de calidad en las redes de distribución de las potabilizadoras de la Chorrera, Chilibre y Miraflores, al igual de lo presentado en este estudio.

Al igual que los organismos heterótrofos, *Pseudomonas* sp. también forman parte de los microorganismos capaces de formar biopelículas sobre superficies que están en contacto con el agua. En la que se afirman en un estudio llevado a cabo en el 2019, en donde se estudió la efectividad de formación de *biofilms* por cepas de *pseudomonas* y su capacidad de disminución de cloro y antagónica de bacterias coliformes, en la que los resultados indican que *P. aeruginosa* presentó una mayor capacidad para formar *biofilms* (Abadia, *et al*, 2019). En Panamá, no está incluido esta bacteria dentro de sus normativas para ser considerado como un indicador más de la

calidad de agua potable, pero la misma tiene gran importancia, porque pueden multiplicarse en el agua tratada (REILLY, 2000). La mayoría de los países se centran en los coliformes para el control de la calidad del agua, sin embargo, países como Argentina y Ecuador añaden a *Pseudomonas* sp. como parte de sus protocolos de control (García & Iannacone, 2014). En la figura 8, se muestra presencia de *Pseudomonas* en agua tratada en ambas potabilizadoras, por lo que esto puede deberse a una densa capa de polisacárido que establece una barrera no solo física, sino química capaz de proteger a esta bacteria de las moléculas e iones de cloro libre residual, por la cual, se observa, una disminución de la misma, después del proceso de potabilización comparándola con el agua cruda, tanto en la potabilizadora de Chilibre como en la potabilizadora de Miraflores. Considerando que se conoce que *Pseudomonas* sp. es sensible a la desinfección, por lo que una desinfección adecuada puede minimizar su entrada en los sistemas de distribución, al igual que las medidas de control diseñadas para limitar la formación de biopelículas, como el tratamiento para optimizar la eliminación del carbono orgánico, la restricción del tiempo de residencia del agua en los sistemas de distribución y el mantenimiento de un nivel adecuado de desinfectante residual, que deberían reducir la proliferación de estos microorganismos (Delgado, 2015). Hoy en día, hay muchos estudios de *Pseudomonas* sp. en agua embotellada utilizada para consumo humano llevadas a cabo por el Ministerio de Salud en Panamá (MINSa), en donde se han encontrado presencia de estas después del proceso tratamiento del agua utilizada para este fin, no solo en Panamá si no a nivel internacional. En Panamá, la presencia de *Pseudomonas* si esta normada en la norma COPANIT 77-2007 para el servicio de venta de agua embotellada (Resolución No. 25941).

Tomando en consideración que la estación lluviosa en Panamá comienza a partir del mes de mayo y dura aproximadamente hasta el mes de noviembre, siendo los meses de octubre y noviembre los más lluviosos (ETESA, 2020). Las constantes lluvias que se registran en el país propias de la temporada lluviosa aumentan el caudal de los ríos, causando altos de niveles de turbiedad y exceso de sedimentación, que impiden en muchas ocasiones el funcionamiento adecuado de las tomas de agua cruda, ya que se obstruyen las líneas de succión y el agua que logra ser captada, mantiene altos niveles de turbiedad. Lo que, en muchas ocasiones, impiden que se desarrolle el proceso de potabilización adecuadamente, afectando el funcionamiento de las plantas potabilizadoras, ya que no se puede procesar el agua dentro de las normas de calidad de agua existente (IDAAN, 2019). Esto es lo que ha de esperarse normalmente durante la temporada lluviosa, pero en este caso en Panamá, en el 2019, los Lagos Alajuela y Gatún, se encontraron por debajo de nivel guía, producto de las bajas lluvias registradas a nivel nacional debido a una sequía prolongada a causa del cambio climático y ambos Lagos almacenan aguas de las lluvias que caen en la cuenca y de allí, abastecen las potabilizadoras que sirven a 2 millones de personas en las provincias de Panamá, Colón y Panamá Oeste. Por lo que, ambas potabilizadoras tomaron medidas necesarias para que el suministro del agua no se vea afectado. Cuando ocurren situaciones críticas, como bajos niveles de agua o fuertes tormentas, la calidad de agua en ríos y quebradas es afectada, por la gran cantidad de sedimentos y materia arrastrados por la escorrentía superficial (Fábrega *et al*, 2009). Tanto el Lago Gatún como el Lago Alajuela, presentan actividades de ganadería, agricultura entre otras actividades las cuales añaden contaminantes a los cuerpos de agua (Garcimartín, *et al*, 2020). En la figura 9 y 10, ambas potabilizadoras durante el mes de octubre y

noviembre, presentaron un mayor recuento de microorganismos que el mes de diciembre, debido a la finalización de la estación lluviosa, en donde los niveles de precipitación son menores y es de esperarse que durante la estación lluviosa, los niveles de turbidez sean muchos más altos, ya que los elevados índices de precipitación registrados durante el mes de octubre y noviembre, pueden variar los niveles de microorganismos presentes en los cuerpos de agua (Almanza *et al.*, 2018), incluyendo la presencia de *Pseudomonas* (Barahona *et al.*, 2017). Debido a la sequía prolongada del 2019, presentando bajas lluvias en la cuenta Hidrográfica del Canal de Panamá, en donde los niveles de turbidez que se presentaron en ambas potabilizadoras en el agua cruda tuvieron bajos niveles, pero en cambio al pH, que es mucho más elevado durante la estación seca, se presentó durante todas las semanas de los meses de muestreos, en donde los niveles de pH en el agua cruda fueron superiores a 7.0, en donde se mostraron condiciones alcalinas tanto en el agua cruda como en el agua tratada (Cuadro 6). En el caso de los sólidos disueltos en el agua cruda, presentaron valores promedio de 11.3 NTU (Unidad nefelométrica de turbidez) mucho más altos en el agua cruda de la Planta de Miraflores que en la potabilizadora de Chilibre y esto se debió a que el sitio de muestreo de la potabilizadora de Miraflores fue en una zona abierta dentro del Lago Gatún, pudiendo estar influenciada por la presencia de fitoplancton y sedimentos procedente de la erosión, mientras que la zona de muestreo del agua cruda de la potabilizadora de Chilibre, no fue tomada directamente del Lago Alajuela, si no de los tanque que provienen de la estación de bombeo, lo que provoca que la dispersión de los sólidos sea mucho menor (Madrid, 2019). Para los niveles de coliformes totales, se ven aumentada debido al lavado de los suelos y el arrastre del sedimento del caudal (De La Cruz, 2018). Al contrario, a lo

que podría pensarse, que en la estación lluviosa pudiera haber una disminución del número de microorganismos de coliformes termotolerantes (Almanza *et al.*, 2018).

# **CAPITULO IV**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIÓN

1. Los niveles de coliformes termotolerantes y totales en muestras de agua potable de acuerdo con la norma DGNTI-COPANIT 21-2019, se encuentran dentro de los valores permitidos que son establecidos para el agua de consumo humano en Panamá, tanto la potabilizadora de Chilibre como la potabilizadora de Miraflores. Pudiendo determinar el buen nivel de desinfección que ambas potabilizadoras presentan.
2. En el reglamento técnico de Agua Potable-DGNTI-COPANIT 21, 22 y 23 en materia de agua potable, las bacterias heterotróficas (aerobios mesófilos), no están normadas, pero se tomaron como referencia valores de guías internacionales como, por ejemplo, el de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), que establece que se puede permitir hasta un valor máximo de 500 UFC/mL de agua procesadas por la técnica de filtro de membrana, siendo que los valores promedios observados en este estudio están por debajo de la norma, lo que determina que el agua tratada observadas en ambas potabilizadoras cumple con la norma establecida por la OMS.
3. Los bajos niveles de *Pseudomonas* en el agua tratada en comparación con el agua cruda, demuestran una reducción significativa en el proceso de desinfección en ambas potabilizadoras.
4. Se manifestó que el mes de octubre el recuento total de heterótrofos, presentó mayor recuento en comparación a los otros grupos de bacterias en los meses de noviembre y diciembre.

## **RECOMENDACIONES**

- Para una mejor comparación del comportamiento del recuento de microorganismo es recomendado para realizarlo para ambas estaciones, estación seca y estación lluviosa.
- Tomar en cuenta otros parámetros además de los parámetros de biológicos para determinar la calidad del agua
- Tomar las muestras de agua potable primero que las de agua cruda, para evitar una contaminación de las muestras
- Realizar un muestreo en la estación seca, para comparar la variación en los resultados.
- Organizar un cronograma de trabajo en el que se tome en consideración las fechas en las que el acceso a las plantas no sea posible y así evitar faltas en las muestras.
- Para obtener resultados uniformes, se recomienda que los puntos de muestreo de agua potable sean ambos en sitios similares, ya sea ambos directamente en la planta o ambas en la red de distribución.

# **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Almanza, V., López, Y., & De La Cruz, A. (2018). Determinación de la familia enterobacteriaceae asociada a la toma de agua de las potabilizadoras Roberto Reyna y Rufina Alfaro de Chitré y Los Santos, respectivamente, durante las temporadas seca y lluviosa, año 2016. Panamá: Visión Antataura.
- Allocati, N., Masulli, M., Alexeyev, MF y Di Ilio, C. (2013). Escherichia coli en Europa: una descripción general. Revista internacional de investigación ambiental y salud pública, 10 (12), 6235-6254.
- Amado Camargo, M. F. (2018). Determinación bacteriológica de la calidad del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del distrito de Majes, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, abril-mayo 2017.
- Aurazo, M. (2004). Aspectos biológicos de la calidad del agua. L. Lima, Perú: CEPIS/OPS.
- Autoridad del Canal de Panamá. (2010). La magia del agua, una realidad en equipo. El Faro, 28.
- Aguiar Prieto, P., Cepero Martín, J. A., & Coutin Marie, G. (2000). La calidad del agua de consumo y las enfermedades diarreicas en Cuba, 1996-1997. Revista Panamericana de Salud Pública, 7, 313-318.
- Autoridad Nacional del Ambiente (2011). Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá, 2010-2030.
- Barahona, Y., Luna, J., & Romero, I. (2017). Calidad Bacteriológica Del Agua De Los Ríos Manaure Y Casacará, Departamento Del Cesar, Colombia. Colombia: Universidad de Caldas.
- Campos Pinilla, C. (2003). Indicadores de contaminación fecal en aguas. En C. Díaz Delgado, C. Fall, E. Quentin, M. d. Jiménez Moleón, M. V. Esteller Alberich, S.

E. Garrido Hoyos, D. García Pulido, Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domesticas. Pp. 224-229. México: RIPDA-CYTED.

CEPIS. (2000). Centro Peruano de Ingeniería. Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. Organización Mundial de la Salud (OMS).

Cortés-Lara, M. d. (2003). Importancia de los coliformes fecales de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. México: Rev Biomed.

Coutiño, M., Rodríguez, E., Pérez, R., De Igartua, E., & López, F. (2008). Bacterias transmitidas por aguas y alimentos que producen enfermedades. Ciencia y hombre, 31-36.

Croxen, M. A., Law, R. J., Scholz, R., Keeney, K. M., Wlodarska, M., & Finlay, B. B. (2013). Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, 26(4):822-880.

Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, (029), 153-170.

De La Cruz, A. (2018). Impacto Del Cambio Climático Sobre La Prevalencia De Indicadores Microbiológico, Patógenos Y Parámetros Físicoquímicos De Aguas Superficiales Del Río La Villa Usadas Para Actividades Agrícola Y Humana. Panamá: Universidad de Panamá- Facultad de Ciencias Agropecuarias.

De La Cruz-Cabrera, V., Taylor, F., & Farnum, F. (2020). Calidad y disponibilidad del recurso hídrico del Lago Gatún, Provincia de Colón, República de Panamá. *Revista Científica Orbis Cognitiona*, 4(2), 41-65.

- De La Lanza, G. J., Hernández Pulido, S., & Carbajal Pérez, J. L. (2011). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). México: UNAM- Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal.
- Delgado Calderón, S. J., & Morales Torres, F. A. (2015). Detección de pseudomona aeruginosa y bacterias heterótrofas de aguas envasadas en botellas y bolsas destinadas al consumo humano, comercializadas en la ciudad de Managua en el período diciembre 2014 a enero 2015 (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua).
- DGNTI-COPANIT 21. Reglamento técnico (2019). Tecnología de los alimentos agua potable, definiciones y requisitos generales. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/pan190168.pdf>
- ETESA. (Agosto de 2020). Empresa Transmisión Electrica S. A. Obtenido de Hidrometeorología: <https://www.hidromet.com.pa/es/regimen-pluviometrico-panama>
- García, L., & Iannacone, J. (2014). Pseudomonas aeruginosa un indicador complementario de la calidad de agua potable: análisis bibliográfico a nivel de Sudamérica. *The biologist*, 133-152.
- GLASMACHER, A., ENGELHART, S., & EXNER, M. (2003). Infections from HPC organisms in drinking water amongst immunocompromised. *Heterotrophic plate counts and drinking-water safety*. Londres: WHO IWA Publishing.
- Garcimartin, C., Astudillo, J., Garzonio, Omar (2020). El agua en la economía de Panamá.
- IDAAN. (15 de julio de 2021). Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales. Obtenido de IDAAN: <https://www.idaan.gob.pa/historia/>

IDAAN. (Septiembre de 2019). Instituto de Acueductos y Alcantarillos Nacionales.

Obtenido de Temporada De Lluvia Aumenta Turbiedad En Las Tomas De Agua Cruda A Nivel Nacional: <https://www.idaan.gob.pa/temporada-de-lluvia-aumenta-turbiedad-en-las-tomas-de-agua-cruda-a-nivel-nacional/>

Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., Romeu-Álvarez, B., Rojas-Hernández, N. M., & Heydrich-Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. CENIC. Ciencias Biológicas, 24-34.

Marchand Pajares, E. O. (2002). Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima Metropolitana.

Vivas, L., Betancourt, J., Moreno, Y., Santana, C (2014). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Colombia: INVEMAR.

Y. Madrid, 2019. Detección molecular y análisis filogenético de virus entéricos en muestras de agua cruda y tratada de las potabilizadoras de Chilibre y Miraflores de Panamá.

Merck Panamá, Caldo extracto de glucosa triptona (TGE) | MHA000P2T. Disponible en: <https://www.merckmillipore.com/GT/es/product/Tryptone>

Merck Panamá, Caldo selectivo para Pseudomonas | MHA000P2P. Disponible en: [https://www.merckmillipore.com/GT/es/product/Pseudomonas-Selective-Broth,MM\\_NF](https://www.merckmillipore.com/GT/es/product/Pseudomonas-Selective-Broth,MM_NF)

MICI. (12 de noviembre de 1999). Ministerio de Comercio e Industrias. Obtenido de Direccion General de Normas y Tecnologia Industrial:

[https://www.mici.gob.pa/uploads/media\\_ficheros/2019/07/2/normas-y-tecnologia-industrial/rt/rt-dgnti-copanit-23-395-1999.pdf](https://www.mici.gob.pa/uploads/media_ficheros/2019/07/2/normas-y-tecnologia-industrial/rt/rt-dgnti-copanit-23-395-1999.pdf)

Mora, D., & Mata, A. (2003). Conceptos básicos de aguas para consumo humano y disposición de aguas residuales. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Laboratorio Nacional de Aguas. Costa Rica.

Mushi, D., Byamukama, D., Kirschner, A. K., Mach, R. L., Brunner, K., & Farnleitner, A. H. (2012). Sanitary inspection of wells using risk-of-contamination scoring indicates a high predictive ability for bacterial fecal pollution in the peri-urban tropical lowlands of Dar es Salaam, Tanzania. *J Water Health.*, 236–243. Mejía, A., Castillo, O., & Vera, R. (2016). Agua potable y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina.

Organización mundial de la Salud. (2006). Guía Para La Calidad del agua Potable. Primer apéndice a la tercera edición. Ginebra. Organización mundial de la Salud para consumo y disposición de aguas residuales. Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Laboratorio Nacional de Aguas. Obtenido de <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20aguas%20para%20consumo%20humano%20y%20disposici%C3%B3n%20de%20aguas%20residuales.pdf>

O.M.S., O. M. (1995). Guías para la calidad del agua potable. Organization of American States, General Secretariat.

Pèz Sanabria, L. J. (2008). Validación secundaria del método de filtración por membrana para la detección de coliformes totales y *Escherichia coli* en muestra

de aguas para consumo humano analizadas en el laboratorio de salud pública del Huila.

Pedro Pablo Loné, 2016. Indicadores de calidad del agua. Obtenido de:  
<https://www.iagua.es/blogs/pedro-pablo-lone/indicadores-calidad-agua>

Ríos-Tobón, S., Agudelo, R., & Gutiérrez, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua de consumo humano. Colombia: Facultad Nacional de Salud Publica.

Robert, M., (2014). Microorganismos indicadores de la Calidad del agua potable en Cuba. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 45, N°. 1. pp, 25-36, La Habana Cuba. Merck Panamá, Caldo m-ColiBlue24® | M00PMCB24. Disponible en:  
<https://www.merckmillipore.com/GT/es/product/m-ColiBlue24>

Rodríguez, S., Asmundis, C., Ayala, M., & Arzú, O. (2018). Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme (Corrientes, Argentina). Revista Veterinaria, 9-12.

Rojas, R. (2002). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima: CEPIS/OPS.

Santiago-Rodriguez, T. M., Tremblay, R. L., Toledo-Hernandez, C., Gonzalez-Nieves, J. E., Ryu, H., Santo Domingo, J. W., & Toranzos, G. A. (2012). Microbial quality of tropical inland waters and effects of rainfall events. Applied and environmental microbiology, 78(15), 5160-5169.

TORRES, G. E. O. (2013). Filtración por membrana para la detección de coliformes totales y Escherichia coli en aguas (Tesis doctoral, Universidad de Pamplona).

Vázquez, G., Castro, G., González, I., Pérez, R., & Castro, T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. Xochimilco, México: UAM-X.

Vidal, R., Martínez, F., & Ayza, M. (1994). Aplicaciones de los modelos de calidad en la simulacion de redes de distribucion de agua potable. Valencia, España: Ingenieria del Agua.

Won, G., Gill, A., & Lejeune, J. T. (2013). Microbial quality and bacteria pathogens in private wells used for drinking water in northeastern Ohio. *J Water Health*, 555-562.

# **ANEXOS**

**Cuadro 1.** Valores máximos permitidos que se establecen para el agua potable por el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT.

<b>CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS PARA EL AGUA POTABLE</b>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VMP(1)</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>1. Biológicas</b>			
A. Agua distribuida por tubería			
A.1 Agua tratada que entra al sistema de distribución			
Bacterias coliformes fecales	Nº de colonias /100ml	0	
Bacterias coliformes totales	Nº de colonias /100ml	0	
A.2. Agua no sometida a tratamiento que entra en el sistema de distribución.			
Bacterias coliformes fecales	Nº de colonias /100ml	0	
Bacterias coliformes totales	Nº de colonias /100ml	3	
A.3. Agua en el sistema de distribución			
Bacterias coliformes fecales	Nº de colonias /100ml	0	
Bacterias coliformes totales	Nº de colonias /100ml	3	
B. Agua no distribuida por tuberías			
Bacterias coliformes fecales	Nº de colonias /100ml	0	
Bacterias coliformes totales	Nº de colonias /100ml	10	
C. Agua Embotellada			
Bacterias coliformes fecales	Nº de colonias /100ml	0	La fuente de abastecimiento de agua debe estar exenta de contaminación fecal al igual que el agua final del proceso.
Bacterias coliformes totales	Nº de colonias /100ml	0	

**Cuadro 2.** Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos del agua para consumo humano, guía para el agua potable por la OMS.

<b>Nº</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
1	Bacterias Coliformes Totales	UFC/100 ml a 35°C	0(*)
2	E. Coli	UFC/100 ml a 44.5°C	0(*)
3	Bacterias Coliformes Termotolerantes o fecales	UFC/100 ml a 44.5°C	0(*)
4	Bacterias Heterotróficas	UFC/ml a 35°C	500
5	Huevos y larvas de Helmintos, quistes y oquistes de protozoarios patógenos	Nº org/L	0
6	Virus	UFC/ml	0
7	Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

**Cuadro 3.** Análisis de estadística descriptiva.

Tamaño de la muestra	576
Media	12298.18
Error típico	3705.54
Mediana	16
Moda	0
Desviación estándar	88932.96
Varianza de la muestra	7909071460
Curtosis	209.54
Coefficiente de asimetría	13.76
Rango	1500000
Mínimo	0
Máximo	1500000
Suma	7083750
Mayor (1)	1500000
Menor (1)	0
Rango intercuartílico	1500
Nivel de confianza (95.0%)	7278.04

**Cuadro 4.** Análisis de cuantiles.

Niveles	Mínimo	25%	Mediana	75%	Máximo	Media
Agua cruda	0	100	1500	8375	1500000	24.08333
Agua Tratada	0	0	0	13	287	24572.27
P. Chilibre	0.0	0.0	0.5	925.0	1500000.0	4951.899
P. Miraflores	0.00e+00	0.00e+00	3.75e+01	2.00e+03	1.50e+06	19644.45

**Cuadro 5.** Análisis de comparaciones por pares utilizando la prueba de suma de rangos de Wilcoxon.

data: Recuento UFC/mL and Microorganismo

data: Recuento UFC/mL and Tipo de agua

	CF	CT	PS
CT	4.3e-15	=	-
PS	1.7e-08	0.00140	-
RT	< 2e-16	0.00012	3.9e-13

	C
T	<2e-16

data: Recuento UFC/mL and Potabilizadora

	CH
M	0.00075

**Cuadro 6.** Parámetros fisicoquímicos de las muestras colectadas en la estación lluviosa (Madrid, 2019).

PROYECTO DE VIRUS ENTERICOS EN AGUA CRUDA Y TRATADA EN DOS POTABILIZADORAS ESTACION LUVIOSA						
PARÁMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA						
		Planta Miraflores		Planta Chilibre		
Fecha	Parámetros	Agua cruda	Agua tratada	Fecha	Agua cruda	Agua tratada
Semana 1	Temperatura	27.3°C	27.8°C	Semana No1	27°C	27,3°C
	Ph	7.6	6.5		7.3	7.3
	Turbiedad	12.1	1.2		1.4	0.5
Semana 2	Temperatura	28.8°C	28.6°C	Semana No2	27.7°C	28.2°C
	Ph	7.5	7		7.4	7.3
	Turbiedad	8.1	1		2.9	1
Semana 3	Temperatura	28.1°C	28.2°C	Semana No 3	27.8°C	27.5°C
	Ph	7.4	7.3		7.3	7.2
	Turbiedad	19.2	0.2		1.9	0.8
Semana 4	Temperatura	27.4°C	27.9°C	Semana No 4	27.2°C	26.4°C
	Ph	7.4	7		7.3	7.3
	Turbiedad	14	0.2		1.2	0.2
Semana 5	Temperatura	28.3°C	28.9°C	Semana No 5	26.6°C	27.8°C
	Ph	7.4	7		7.4	7.4
	Turbiedad	10.8	0.4		1.2	0.4
Semana 6	Temperatura	27.4°C	28.5°C	Semana No 6	27.3°C	27.1°C
	Ph	7.6	7		7.3	7.2
	Turbiedad	11.2	0.2		1.4	0.4
Semana 7	Temperatura	27.8°C	28.4°C	Semana No7	26°C	27.2°C
	Ph	7.4	7.5		7.3	7.3
	Turbiedad	8.3	0.6		1.7	0.6
Semana 8	Temperatura	28.5°C	28.2°C	Semana No 8	26.8°C	26.7°C
	Ph	7.6	7		7.3	7.3
	Turbiedad	9.5	0.2		1.1	0.5
Semana 9	Temperatura	29.6°C	28.5°C	Semana No 9	28.4°C	28.8°C
	Ph	7.6	7		7.3	7.2
	Turbiedad	7.1	1		1.5	0.5
Semana 10	Temperatura	28.1°C	28.8°C	Semana No 10	26.1°C	26.6°C
	Ph	7.5	7		7.2	7.3
	Turbiedad	13.6	0.4		0.93	0.4
Semana 11	Temperatura	28.2 °C	28.4°C	Semana No 11	26.7°C	27.1°C
	Ph	7.6	7		7.1	7.2
	Turbiedad	8.5	0,2		0.9	0.4
Semana 12	Temperatura	28°C	28°C	Semana No 12	27°C	27.3°C
	Ph	7.7	7		7.3	7.3
	Turbiedad	6.8	0.6		1.4	0.5

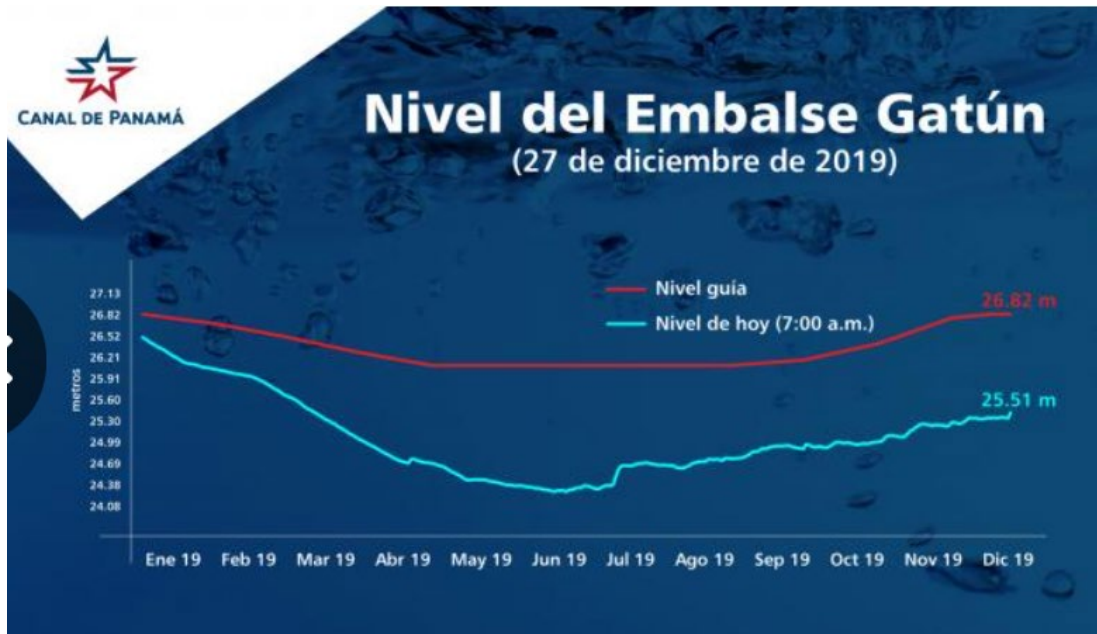


Figura 11. Nivel del embalse del Lago Gatún durante el año 2019.

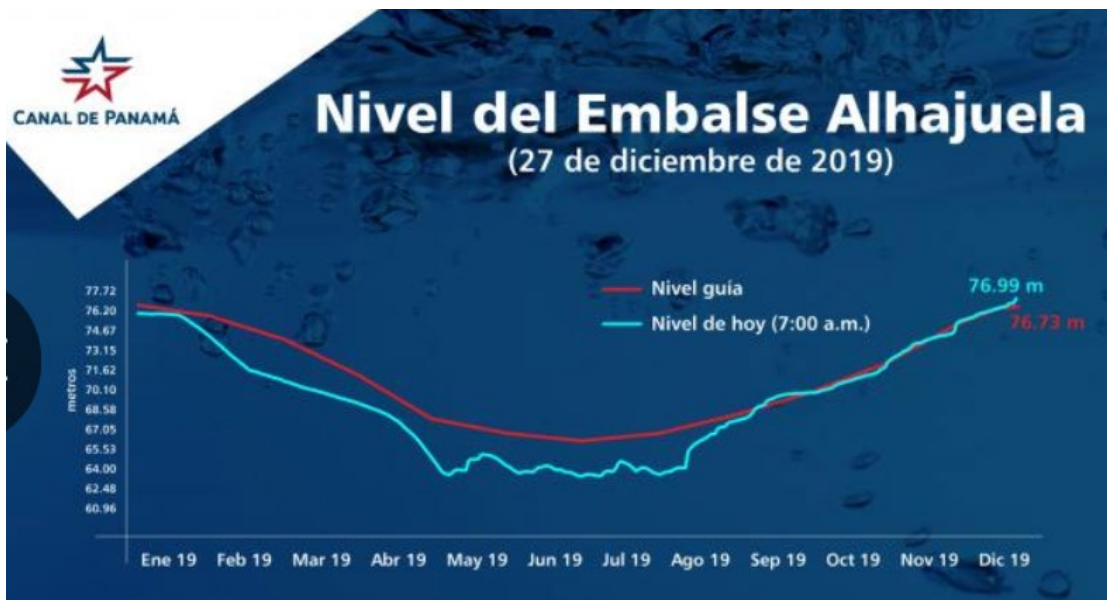


Figura 12. Nivel del embalse del Lago Alajuela durante el año 2019.



**Figura 13.** Punto de colecta de agua cruda antes del proceso de potabilización dentro de la planta potabilizadora de Chilibre.



**Figura 14.** Punto de colecta de agua tratada después del proceso de potabilización dentro de la planta potabilizadora de Chilibre.



**Figura 15.** Punto de colecta de agua cruda del lago Miraflores en la planta potabilizadora de Miraflores.



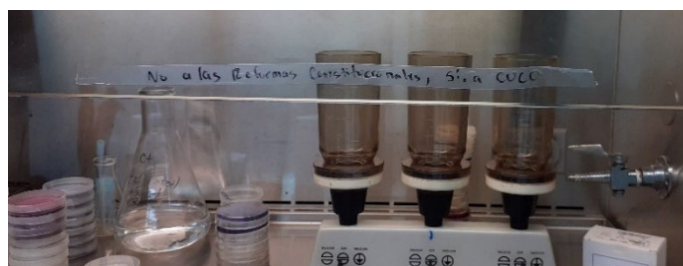
**Figura 16.** Punto de colecta de agua tratada en el Centro de Salud de Paraíso, corregimiento de Ancón.



**Figura 17.** Bolsas Whirl-Pak utilizadas para la colecta de muestras de agua cruda



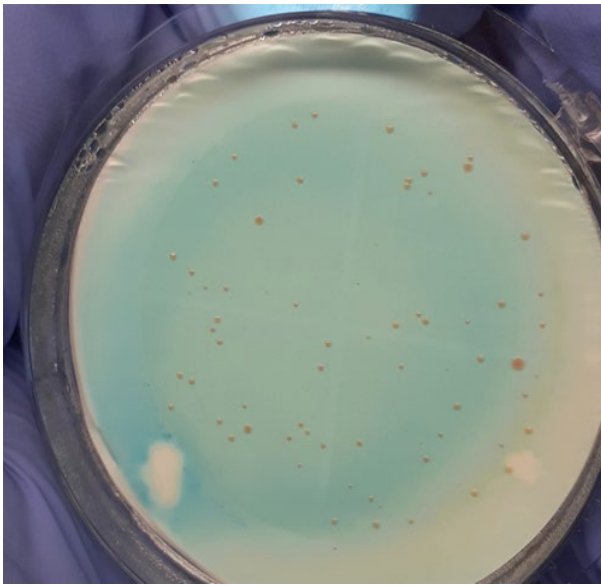
**Figura 18.** Medio de cultivo en ampollas para determinar la presencia de Coliformes, Pseudomonas sp. y recuento total de aerobios mesófilos.



**Figura 19.** Sistema de filtración por la técnica de filtro de membrana.



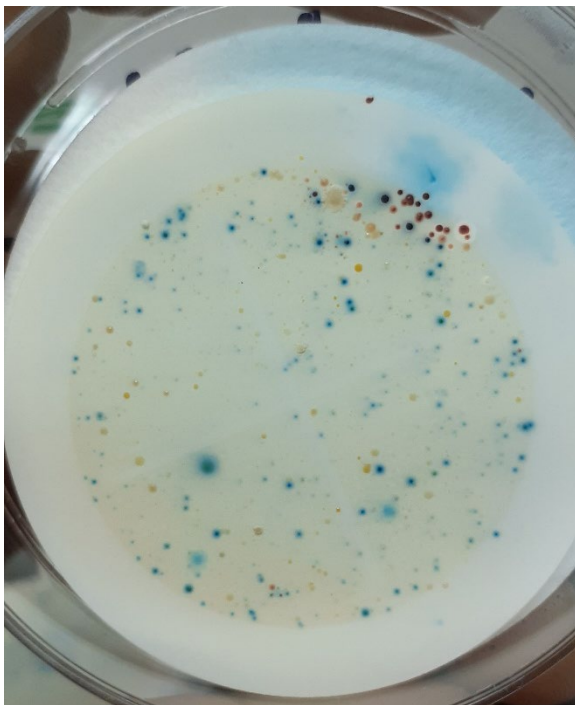
**Figura 20.** Procesamiento de las muestras en el laboratorio.



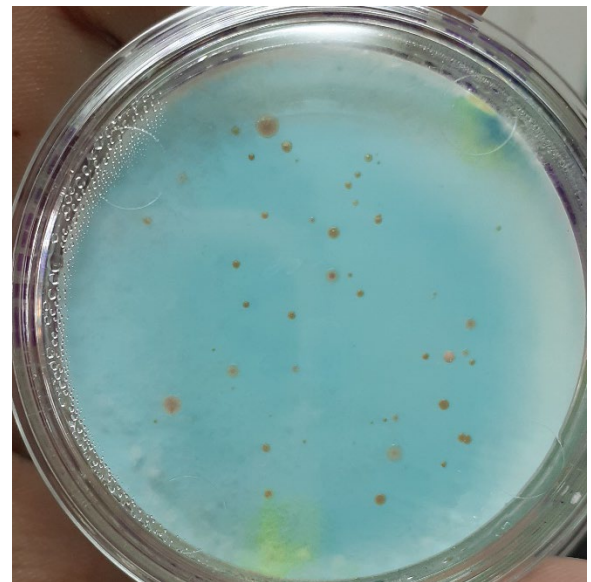
A.



B.



C.



D.

**Figura 21.** Presencia de Coliformes Totales (colonias de color rosado) y fecales (Colonias de color azul) en Caldo ColiBlue en agua cruda como en agua tratada.



**Figura 22.** Presencia de Aerobios mesófilos en Caldo extracto de glucosa triptona (TGE), en muestras de agua tratada.



**Figura 23.** Presencia de *Pseudomonas* sp, en caldo selectivo para *Pseudomonas*.